

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO**

**Avaliação da eficiência energética em sistemas de iluminação predial:
Estudo de casos em dois hipermercados na cidade de
Campo Grande – MS**

Leonardo Bruno Santos Mangiapelo

Orientador: Alberto Luiz Francato

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais.

**Campinas, SP
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

M313a Mangiapelo, Leonardo Bruno Santos
Avaliação da eficiência energética em sistemas de iluminação predial : estudo de casos em dois hipermercados na cidade de Campo Grande - MS / Leonardo Bruno Santos Mangiapelo. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: Alberto Luiz Francato.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Eficiência energética. 2. Iluminação natural. 3. Supermercado. 4. Edifícios - Automação. 5. Iluminação elétrica - Instalação. I. Francato, Alberto Luiz. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Evaluation of the energy efficiency of lighting systems in commercial buildings: A case study in two hipermarkets in the city of Campo Grande-MS, Brazil

Palavras-chave em Inglês: Energy efficiency, Natural lighting, Supermarket, Buildings - Automation, Electric lighting - Installation

Área de concentração: Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Lucila Chebel Labaki, Fabio Gonçalves Jota

Data da defesa: 16-02-2012

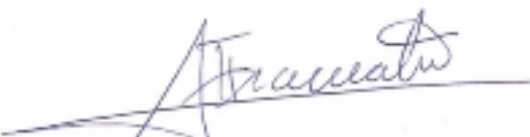
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE
ILUMINAÇÃO PREDIAL: ESTUDO DE CASOS EM DOIS
HIPERMERCADOS NA CIDADE DE CAMPO GRANDE – MS.**

Eng. Leonardo Bruno Santos Mangiapelo

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Alberto Luiz Francato
Presidente e Orientador - FEC/UNICAMP



Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki
FEC/UNICAMP



Prof. Dr. Fábio Gonçalves Jota
UFMG

"Só aqueles que têm paciência para fazer coisas simples com perfeição é que irão adquirir habilidade para fazer coisas difíceis com facilidade."

Johann Christoph Friedrich von Schiller

"A paciência é amarga, mas seu fruto é doce."

Jean-Jacques Rousseau

Agradecimentos

Aos meus queridos pais Bruno Mangiapelo e Maria Regina Miranda dos Santos Mangiapelo, e também à minha querida irmã Nara Liana dos Santos Mangiapelo, pelo prazer de estarem sempre ao meu lado fornecendo todo o carinho, compreensão, incentivo e apoio que necessitei ao longo de toda minha vida.

Ao Prof. Alberto Luiz Francato, por ter me aceito como orientando, e me oferecido, ao longo destes quase três anos, confiança, auxílio, orientação, conhecimento e amizade.

Ao Prof. Wagner Augusto Andreasi, pelas diversas conversas que tivemos e por toda atenção e apoio despendido, que foram diretamente responsáveis pelo rumo no desenvolvimento deste trabalho.

À equipe do laboratório de desenvolvimento de edificações (LADE) UFMS, pelo auxílio na interpretação dos regulamentos do programa PROCEL Edifica, bem como pelas discussões sobre o processo de avaliação de eficiência energética da edificação.

Ao Prof. Amâncio Rodrigues da Silva Jr. e ao Prof. Saulo Moreira, bem como a toda equipe do laboratório de eficiência energética da UFMS por auxiliar com as medições do consumo de energia elétrica.

Aos Prof. Tiago Zenker Gireli, Profa. Lucila Chebel Labaki e Prof. Fabio Gonçalves Jota pela participação como membros das bancas de qualificação e defesa, e por terem contribuíram diretamente para a melhoria deste trabalho com sábias críticas e observações.

Ao Eng. Denis Felinbert, que permitiu e viabilizou a condução deste estudo nos dois hipermercados do Grupo Pão de Açúcar, bem como a todos os demais funcionários que auxiliaram e incentivaram este estudo.

Ao Eng. Héber Henrique Selvo, por ter auxiliado na obtenção das informações sobre o consumo de energia elétrica na Capital e no estado do Mato Grosso do Sul, junto à concessionária de energia elétrica ENERSUL, do Grupo Rede.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) –
pela bolsa de mestrado oferecida no período de: março de 2010 a março de 2012.

A TODOS, OS MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS!

Resumo

No Brasil, as edificações são responsáveis por 45% do consumo de toda energia elétrica produzida no país, sendo 14,6% representado pelo setor comercial. Neste setor, os sistemas de iluminação artificial representam em média 22% do consumo de energia, apresentando grandes possibilidades para ações de eficiência energética. Estudos mostram que é possível reduzir 61% do custo com energia elétrica com ações de eficiência energética em sistemas de iluminação. Levantamentos realizados pelo Procel indicam que nos hipermercados 66,7% possuem potência instalada em iluminação acima de 100 kW, oferecendo grandes oportunidades para ações de eficiência energética no setor de iluminação. A integração da iluminação artificial com a natural possibilita grandes reduções nos custos com energia elétrica, além de proporcionar ambientes mais agradáveis e saudáveis para seus usuários. Ainda, estudos ressaltam que nos projetos luminotécnicos em geral, a eficiência energética do conjunto de equipamentos luminária-lâmpada-reator não costuma ser considerada, sendo comum a adoção de lâmpadas eficientes com luminárias ou reatores pouco eficientes. Neste trabalho, foram analisados dois hipermercados localizados na cidade de Campo Grande – MS. O hipermercado B possui um sistema de aberturas zenitais que possibilita o aproveitamento da iluminação natural e um conjunto de luminárias com refletores brancos e lâmpadas fluorescentes tubulares T8, enquanto o hipermercado A possui um sistema de fechamento com forro e um conjunto de luminárias com refletores metálicos e lâmpadas fluorescentes tubulares T5. Para realizar uma avaliação visando à eficiência energética de ambos os sistemas de iluminação destes hipermercados foram realizados levantamentos em campo, medições do consumo de energia elétrica nos circuitos de iluminação e também medições da distribuição dos níveis internos de iluminâncias. O estudo conclui que o aproveitamento da iluminação natural, associada ao correto dimensionamento do conjunto lâmpada-luminária-reator e uso de sistemas automatizados oferecem grandes potenciais para a eficiência energética.

Palavras-Chave: Eficiência Energética, Iluminação Natural, hipermercado

Abstract

Buildings in Brazil are responsible for 45% of the whole electrical energy consumption, where 14,6% are performed in commercial buildings. In this sector, artificial lighting represent about 22% share of their energy consumption. Studies show that it is possible to reduce over 50% of the energy cost by implementing energy efficiency actions in lighting systems. According to PROCEL, the installed power with lighting in hypermarkets is greater than 100 kW in over 60% of the cases, thus representing an important type of building in the commercial sector. Additionally, studies show that the group efficiency of the lamp-ballast-luminary is often forgotten, yielding in inefficient lighting projects. The use of natural lighting integrated to the artificial lighting can offer not only potential to reduce energy consumption but also a more pleasant and healthy environment. This work describes a field study that was conducted in two different hypermarkets in the city of Campo Grande – MS in Brazil, with different artificial and natural lighting systems. The lighting system in hypermarket A consists of fluorescent T5 lamps in luminaries with reflexive components and no natural lighting openings while in hypermarket B, it consists of fluorescent T8 lamps in luminaries with no reflexive components and 12 openings for natural lighting. To evaluate and compare the energy efficiency of both lighting systems field research, energy consumption and lighting distribution measurements were carried out. The authors concluded that the use of natural lighting, associated with an efficient combination of lamp-luminary-ballast and automation systems offer great potential for energy efficiency.

Keywords: Energy Efficiency Natural Lighting Supermarket

Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução do Consumo de Energia Elétrica por Setor. (Adaptado de BEN, 2010)	26
Figura 2 – Previsão para a Evolução do Consumo de Energia Elétrica por Setor. (Adaptado de EPE, 2007)	27
Figura 3 - Alternativas para atendimento à demanda de energia elétrica. (Adaptado de EPE, 2007)	28
Figura 4 - Exemplos de situações corriqueiras que ilustram o uso desnecessário de energia elétrica com sistemas de iluminação artificial no setor comercial.	30
Figura 5 – Exemplo de um hipermercado que aproveita e outro que não aproveita a iluminação natural disponível.	31
Figura 6 - Evolução na participação do consumo percentual. (Adaptado de BEN, 2008)	36
Figura 7 - Projeção do consumo final de energia no Brasil para os cenários A, B1, B2 e C. (Adaptado de EPE, 2007)	37
Figura 8 – Economia de energia proporcionada pelo progresso autônomo em 2030. (Adaptado de EPE, 2007)	39
Figura 9 - Distribuição do consumo de energia elétrica nas edificações. (PROCEL, 2008)	44
Figura 10 – Distribuição do consumo por uso final de energia no setor comercial. (PROCEL, 2008)	48
Figura 11 - Média da carga de iluminação em relação à demanda máxima das instalações. (Adaptado de PROCEL, 2008)	50
Figura 12 - Edificação comercial investigada pelo LRC (2006).	58
Figura 13 – Faixas dos valores de eficiência energética para diversos tipos de lâmpadas. (OSRAM,2009)	59
Figura 14 – Conceito de eficiência luminosa da luminária. (OSRAM, 2009)	62
Figura 15 – Luminárias para lâmpadas fluorescentes: (a) com refletor metálico e aletas; (b) com refletor metálico sem aletas; (c) com refletor branco sem aletas.	63
Figura 16 – Ilustração do conceito de iluminação utilizado na área de congelados do supermercado A&P. (LRC,1994)	67
Figura 17 – Ilustração do conceito de iluminação utilizado na área de hortifrúti do supermercado A&P. (LRC,1994)	68
Figura 18 – Ilustração do conceito de iluminação utilizado na área das prateleiras do supermercado A&P. (LRC,1994)	69
Figura 19 – Perfil de carga típico do sistema de iluminação artificial do supermercado A&P. (Adaptado de LRC,1994)	70
Figura 20 – Vista aérea do hipermercado A.	72

Figura 21 – Fotos no interior do primeiro (esquerda) e segundo (direita) pavimento da loja.....	73
Figura 22 – Planta Baixa do hipermercado A.	73
Figura 23 – Luminárias utilizadas no salão principal de vendas do hipermercado A.	75
Figura 24 – Lâmpada e Reator utilizados no salão principal de vendas do hipermercado A.	75
Figura 25 – Vista aérea do hipermercado B.	76
Figura 26 – Fotos do interior do hipermercado B.	76
Figura 27 - Sistema Roll-On com abertura zenital. (Adaptado do Manual técnico da Marko Sistemas de Coberturas Metálicas).....	77
Figura 28 - Planta Baixa do hipermercado B.	78
Figura 29 – Luminárias utilizadas no salão principal de vendas do hipermercado B.	80
Figura 30 – Lâmpada e Reator utilizados no salão principal de vendas do hipermercado B.	80
Figura 31 – Luxímetro MLM-1010 da MINIPA.	82
Figura 32 – Analisador de Energia Embrasul RE 6000 e sua conexão à rede.....	83
Figura 33 – Analisador de Energia Embrasul RE 2000.	84
Figura 34 – Equipamentos utilizados para medição de iluminâncias.	85
Figura 35 – Quadro que alimenta os circuitos de Iluminação do hipermercado A, onde foram instalados os analisadores de energia.	89
Figura 36 – Diagrama unifilar dos circuitos que alimentam o sistema de iluminação do salão principal de vendas do hipermercado A.	91
Figura 37 – Quadro que alimenta os circuitos de Iluminação do hipermercado B, onde foram instalados os analisadores de energia.	92
Figura 38 – Quadro de iluminação que alimenta os circuitos de Iluminação do salão de vendas do hipermercado B.	93
Figura 39 – Característica de Consumo dos setores residencial, industrial e comercial no estado do Mato Grosso do Sul de Janeiro de 2005 a Dezembro de 2010.	102
Figura 40 - Característica de Consumo dos setores residencial, industrial e comercial na cidade de Campo Grande – MS de Janeiro de 2005 a Dezembro de 2010.	102
Figura 41 - Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias no hipermercado A, durante a primeira etapa das medidas realizadas entre julho e agosto de 2010.....	104
Figura 42 – Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias no hipermercado A, durante a segunda etapa das medidas realizadas entre janeiro e fevereiro de 2011. .	106
Figura 43 - Região de maior claridade do hipermercado A.	106
Figura 44 - Região de menor claridade do hipermercado A.	107
Figura 45 – Curva de carga do sistema de iluminação artificial no hipermercado A – primeira etapa de medição.	108
Figura 46 - Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado A – primeira etapa.	111

Figura 47 – Curva de Carga do sistema de iluminação artificial no hipermercado A – segunda etapa de medição.	113
Figura 49 – Avaliação do sistema de iluminação utilizando dados da medição realizada em 2011.	119
Figura 50 – Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias durante o dia no hipermercado B – primeira etapa das medidas realizadas entre julho e agosto de 2010.	121
Figura 51 – Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias durante a noite no hipermercado B – primeira etapa das medidas realizadas entre julho e agosto de 2010.	122
Figura 52 – Curva Isolux de iluminâncias no hipermercado B da contribuição média da iluminação natural - primeira etapa das medidas realizadas entre julho e agosto de 2010.	123
Figura 53 – Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias durante o dia no hipermercado B – segunda etapa das medidas realizadas entre janeiro e fevereiro de 2011.	125
Figura 54 – Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias durante a noite no hipermercado B – segunda etapa das medidas realizadas entre janeiro e fevereiro de 2011.	126
Figura 55– Curva Isolux de iluminâncias no hipermercado B da contribuição média da iluminação natural - segunda etapa das medidas realizadas entre janeiro e fevereiro de 2011.	127
Figura 56 – Curva Isolux de iluminâncias no hipermercado B que ilustra a variação brusca no nível da iluminação interna durante a medida do dia 26/01/2011.....	128
Figura 57 – Curva de Carga do sistema de iluminação artificial no hipermercado B – primeira etapa de medidas.	129
Figura 58 – Dispositivos de proteção e comando dos circuitos de iluminação do salão de vendas no hipermercado B.	131
Figura 59 – Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado B – primeira etapa de medidas.	133
Figura 60 – Curva de Carga do sistema de iluminação artificial no hipermercado B – segunda etapa de medidas.	134
Figura 61 – Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado B – segunda etapa de medidas.	136
Figura 62 – Avaliação do sistema de iluminação utilizando dados da medição realizada em 2011.	139
Figura 63 – A existência de obstáculos que bloqueiam a luz emitida pelas luminárias.	145
Figura 64 – As cores dos produtos e das prateleiras impactando o nível de iluminação no corredor.	146

Figura 65 - Altura e Distância das prateleiras.....	147
Figura 66 – Sistema de iluminação parcialmente desligado durante a madrugada.	147
Figura 67 – Curva Isolux de iluminâncias no hipermercado B da contribuição média da iluminação natural durante a primeira etapa das medidas, ilustrando o bloqueio das aberturas zenitais pelo retângulo tracejado.....	149
Figura 68 – Aberturas zenitais com bloqueio.	150

Lista de Tabelas

Tabela 1– Caracterização dos cenários macroeconômicos nacionais. (Adaptado de EPE, 2007)	38
Tabela 2 - Projeção do consumo de eletricidade por setor. (Adaptado de EPE, 2007)..	39
Tabela 3 – Dados sobre o mercado consumidor brasileiro em 2010. (Adaptado de EPE, 2010)	40
Tabela 4- Dados socioeconômico dos Países da América do Sul (2005). (Adaptado de SOARES <i>et al</i> ,2009)	41
Tabela 5 - Participação dos Setores no consumo de energia elétrica (2005). (Adaptado de SOARES <i>et al</i> , 2009)	42
Tabela 6 - Experiências no tema Eficiência Energética. (Adaptado de SOARES <i>et al</i> , 2009)	43
Tabela 7 – Percentual de consumo por faixa de demanda máxima. (Adaptado de PROCEL, 2008)	45
Tabela 8 – Percentual de consumidores por participação de energia no custo total.....	47
Tabela 9 - Iluminação predominante por tipo de área (%). (Adaptado de PROCEL, 2008)	48
Tabela 10 – Percentual de consumidores por potência nominal instalada em iluminação (%).....	49
Tabela 11 – Nomenclatura utilizada para referenciar os hipermercados	71
Tabela 12 - Levantamento do sistema de iluminação artificial do hipermercado A.....	74
Tabela 13- Levantamento do sistema de iluminação artificial do hipermercado B.....	79
Tabela 14 – Identificação dos barramentos que constituem o quadro onde foi realizada a medição.....	90
Tabela 15 – Identificação dos barramentos que constituem o quadro onde foi realizada a medição.....	93
Tabela 16 – Relação entre pré-requisitos e níveis de eficiência.	95
Tabela 17 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência pretendido - Método da área do edifício (Adaptado de INMETRO, 2010)	99
Tabela 18 – Resultados da primeira etapa de medição realizada no hipermercado A.	103
Tabela 19 – Resultados da segunda etapa de medição realizada no hipermercado A.	105
Tabela 20 – Levantamento do Consumo de energia ao longo das horas do dia no hipermercado A – primeira etapa de medição.....	109
Tabela 21 – Levantamento do Consumo de energia ao longo das horas do dia no hipermercado A – segunda etapa de medição.	114

Tabela 22 – Avaliação do sistema de iluminação do hipermercado A pelos critérios do PROCEL EDIFICA.	117
Tabela 23 – Primeira etapa de medição realizada no hipermercado B nos meses de julho e agosto de 2010.	120
Tabela 24 – Segunda etapa de medição realizada no hipermercado B nos meses de janeiro e fevereiro de 2011.....	124
Tabela 25 – Levantamento do Consumo de no hipermercado B – segunda etapa de medidas.....	132
Tabela 28 – Resultados das medições realizadas nos hipermercados A e B.	141
Tabela 29 – Detalhes do conjunto Luminária-Lâmpada-Reator de cada hipermercado.	143
Tabela 30 – Níveis de iluminância observados durante o desligamento parcial do sistema de iluminação artificial.....	148

Abreviaturas utilizadas

MME	Ministério de Minas e Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
PNE	Plano Nacional de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
BC	Biblioteca Central
SEM	Energy Management System
BEN	Balanço Energético Nacional
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
LABEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
LRC	Lighting Research Center
ANSI	American National Standards Institute
THD	Total Harmonic Distortion / Taxa de distorção Harmônica
LADE	Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações
UFMS	Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
CENPES	Centro de Pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

Sumário

1. Introdução.....	25
2. Objetivos.....	33
3. Revisão Bibliográfica	35
3.1. O consumo de energia elétrica no Brasil	35
3.2. O consumo de energia elétrica nas edificações brasileiras	43
3.2.1. Edificações comerciais	45
3.2.2. Supermercados e hipermercados	50
3.2.3. Programa nacional de eficiência energética em edificações	52
3.3. O conceito de iluminação eficiente	54
3.3.1. Iluminação artificial complementar à natural.....	55
3.3.2. Utilização das tecnologias mais eficientes.....	58
3.3.3. Sistema de automação e gerenciamento de iluminação	65
4. Metodologia	71
4.1. Hipermercado A	72
4.2. Hipermercado B	76
4.3. Levantamento de informações de campo	81
4.4. Equipamentos utilizados	81
4.4.1. Luxímetro.....	81
4.4.2. Analisador de Energia Embrasul RE 6000	82
4.4.3. Analisador de Energia Embrasul RE 2000	83
4.5. Medições de distribuição interna de iluminâncias	84
4.6. Medições do consumo de energia elétrica.....	88
4.7. Detalhamento das medições de energia no hipermercado A.....	89
4.8. Detalhamento das medições de energia no hipermercado B.....	91
4.9. Critérios para comparação dos sistemas de iluminação	94
4.10. Avaliação utilizando os critérios do Procel Edifica	95
4.10.1. Divisão dos circuitos.....	96
4.10.2. Contribuição da luz natural.....	97
4.10.3. Desligamento automático do sistema de iluminação.....	97

4.10.4.	Procedimento de determinação da eficiência.....	98
5.	Resultados e Discussão	101
5.1.	Mercado consumidor de energia elétrica do Mato Grosso do Sul.....	101
5.2.	Hipermercado A.....	103
5.2.1.	Medição da distribuição de iluminação interna	103
5.2.2.	Medição do consumo de energia.....	107
5.2.3.	Avaliação utilizando os critérios do PROCEL Edifica	116
5.3.	Hipermercado B.....	119
5.3.1.	Medição da distribuição de iluminação interna	119
5.3.2.	Medição do consumo de energia elétrica	129
5.3.3.	Avaliação utilizando os critérios do PROCEL Edifica	136
5.4.	Comparação entre os hipermercados A e B	140
5.5.	Fatores que influenciam a distribuição da iluminação interna.....	144
5.5.1.	Existência de obstáculos	144
5.5.2.	Cores das prateleiras e embalagens de seus produtos.....	145
5.5.3.	Altura e distância entre as prateleiras.....	146
5.5.4.	Desligamento parcial da iluminação	147
5.5.5.	Bloqueio das aberturas zenitais na seção de Hortifrúti.....	148
5.6.	Sugestões para aumentar o nível de eficiência energética.....	150
5.6.1.	Hipermercado A.....	150
5.6.2.	Hipermercado B.....	151
6.	Conclusões	153
7.	Sugestões para trabalhos futuros	157
8.	Referências Bibliográficas	158
9.	Apêndices	163
A.	Apêndice A – Medidas de iluminância nos hipermercados A e B.....	163
A.1.	Hipermercado A.....	164
A.1.1.	Planilha utilizada para anotar as medidas.....	164
A.1.2.	Curvas isolux da primeira etapa de Medição	165
A.1.3.	Curvas isolux da Segunda etapa de Medição	171
A.2.	Hipermercado B.....	177

A.2.1.	Planilha utilizada para anotar as medidas.....	177
A.2.2.	Curvas isolux da primeira etapa de Medição	178
A.2.3.	Curvas isolux da segunda etapa de Medição.....	185
B.	Apêndice B – Plantas em A3 dos hipermercados A e B.....	192
C.	Apêndice C – Medições do consumo de energia	193
C.1.	Hipermercado A	194
C.2.	Hipermercado B	198

1. Introdução

O Brasil é o quinto maior país do mundo em área, ficando atrás somente do Canadá, China, Rússia e Estados Unidos. Com todo este tamanho, possui uma vasta diversidade em seu clima, topografia, cultura, fauna, recursos naturais e principalmente em sua matriz de fontes energéticas. Em 2007 foi o décimo país que mais consumiu energia elétrica, apresentando mais de 80% da sua oferta de energia para geração de eletricidade – sem considerar a parte da energia térmica gerada pela biomassa – baseada em fontes renováveis de energia, muito acima da média mundial de 18% (BEN, 2008). Todos estes fatos favoráveis que são encontrados neste país podem muitas vezes criar uma falsa impressão de não haver a necessidade de utilizar seus recursos naturais de forma racional, estimulando o desperdício e a forma irracional com que são utilizados.

No início da década de 70, o consumo total de energia elétrica no país foi de aproximadamente 40 TWh. Em 2007, este valor aumentou para aproximadamente 412 TWh, representando um aumento em mais de 10 vezes nos últimos 37 anos, a um crescimento de 6,5% ao ano neste mesmo período. A Figura 1 mostra a evolução do consumo nos segmentos de maior representatividade na economia brasileira.

No Brasil, o Ministério de Minas e Energia (MME) é a instituição responsável por formular os princípios básicos e definir as diretrizes da política energética nacional na administração pública do país. Como subsídio e por meio de seus órgãos e empresas vinculadas, o MME promove diversos estudos e análises orientados ao planejamento do setor energético. Em 2004 foi criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que é uma empresa pública cuja finalidade é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como a energia elétrica, as fontes de energias renováveis, a eficiência energética, entre outras. Também é competência da EPE elaborar e publicar o Balanço Energético Nacional (BEN), o Plano Nacional de Energia (PNE) entre diversos outros documentos.

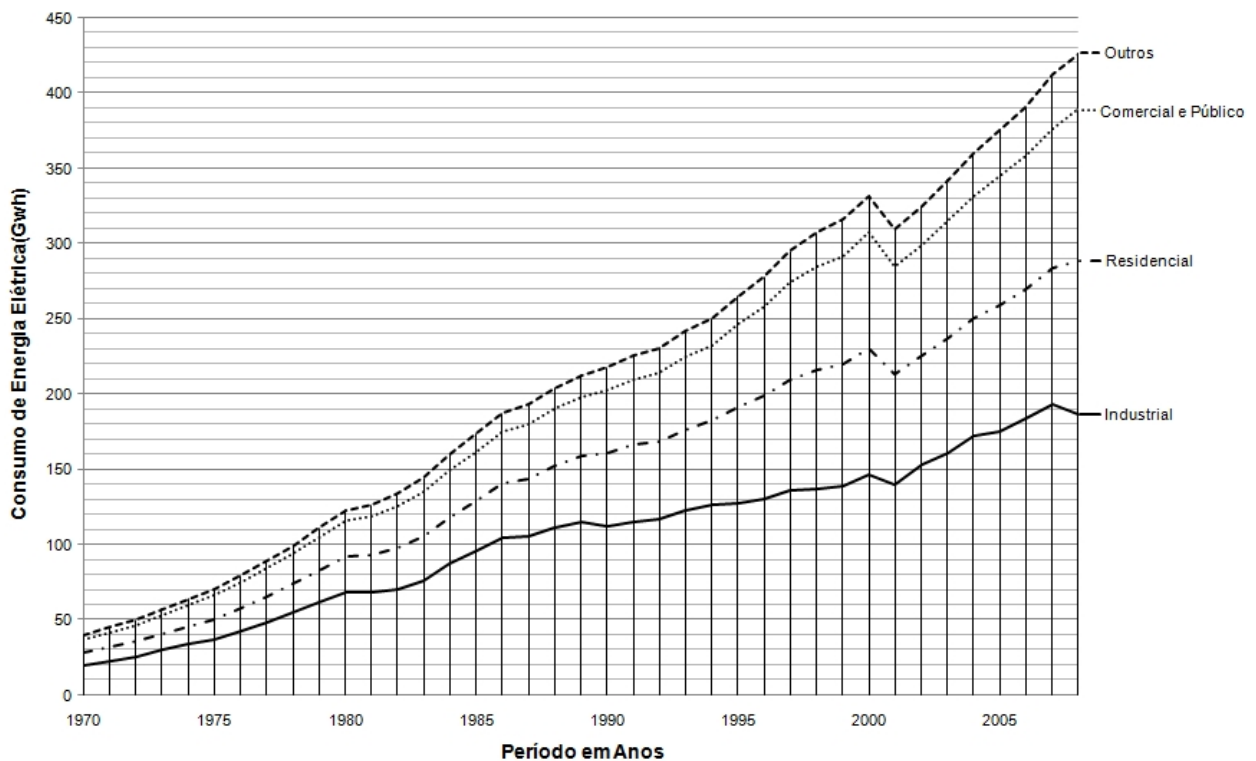


Figura 1 - Evolução do Consumo de Energia Elétrica por Setor. (Adaptado de BEN, 2010)

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030, e considerando um cenário otimista de crescimento para a economia brasileira, o consumo energético no país deve aumentar substancialmente nos próximos anos, podendo chegar, em 2030, à casa dos 1250 TWh. Isso equivale ao triplo do consumo registrado no ano de 2007. (PNE2030, 2007)

A Figura 2 ilustra graficamente a previsão do consumo de cada setor individual na economia brasileira. Segundo esta análise, o setor residencial apresentará o maior crescimento no período, o equivalente a 5% ao ano entre o período de 2005 a 2030. Esta trajetória é justificada pelas hipóteses implícitas ao cenário macroeconômico, as quais consideram:

- Aumento real da renda e maior distribuição da mesma, com reflexos naturalmente na renda das famílias, principalmente na população de baixa renda.
- Expansão do crédito direto ao consumidor.
- Crescimento da posse de aparelhos eletrodomésticos.
- Crescimento do número de domicílios em ritmo maior que o da população.

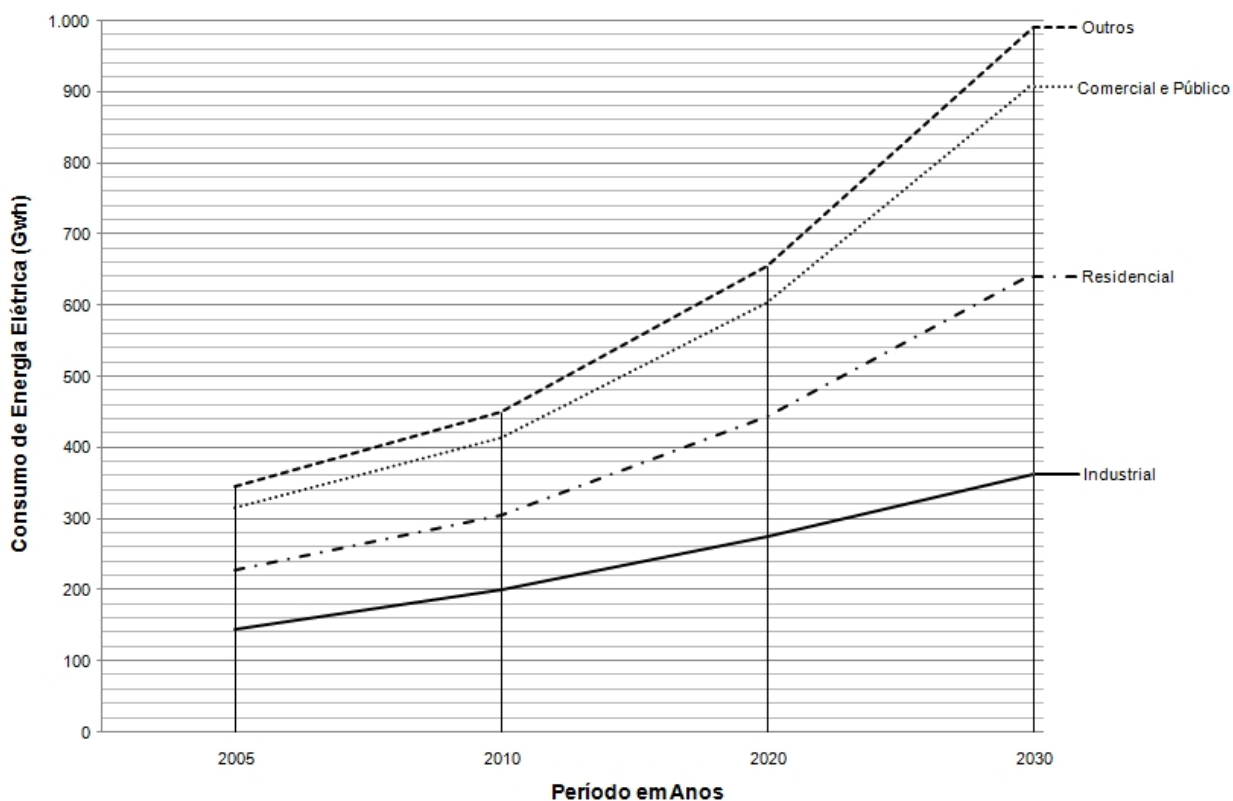


Figura 2 – Previsão para a Evolução do Consumo de Energia Elétrica por Setor.
(Adaptado de EPE, 2007)

Com base nesta mesma análise, pode-se observar o crescimento do setor comercial e público que apresentará altas taxas de crescimentos, podendo alcançar o valor médio de 4,6% ao ano entre o período de 2005 a 2030. O setor comercial é compreendido por um grupo variado e heterogêneo de consumidores como o comércio em geral, *shopping centers*, supermercados e hipermercados, restaurantes, bares e afins, hotéis e outros do setor de turismo, serviços de entretenimento, portos, entre vários espaços que devem manter um crescimento vigoroso nos próximos anos. Esta expansão pode ser justificada pela continuidade da modernização do setor terciário, o crescimento no turismo, a maior movimentação de cargas e passageiros, o aumento das atividades comerciais, refletindo o aumento da renda, do crédito e o efeito multiplicador do crescimento dos setores primários e industrial sobre o setor de serviços. (EPE, 2007)

Para atender as crescentes necessidades por geração de energia elétrica demandada pela sociedade moderna, existem duas rotas básicas, que estão ilustradas

na Figura 3. A primeira se refere ao gerenciamento da demanda, que dentro de uma perspectiva de longo prazo, compreende as ações na direção do uso mais eficiente da energia. A segunda se refere ao aumento da oferta, exigindo assim a construção de novas usinas para a geração de energia elétrica (EPE, 2007).

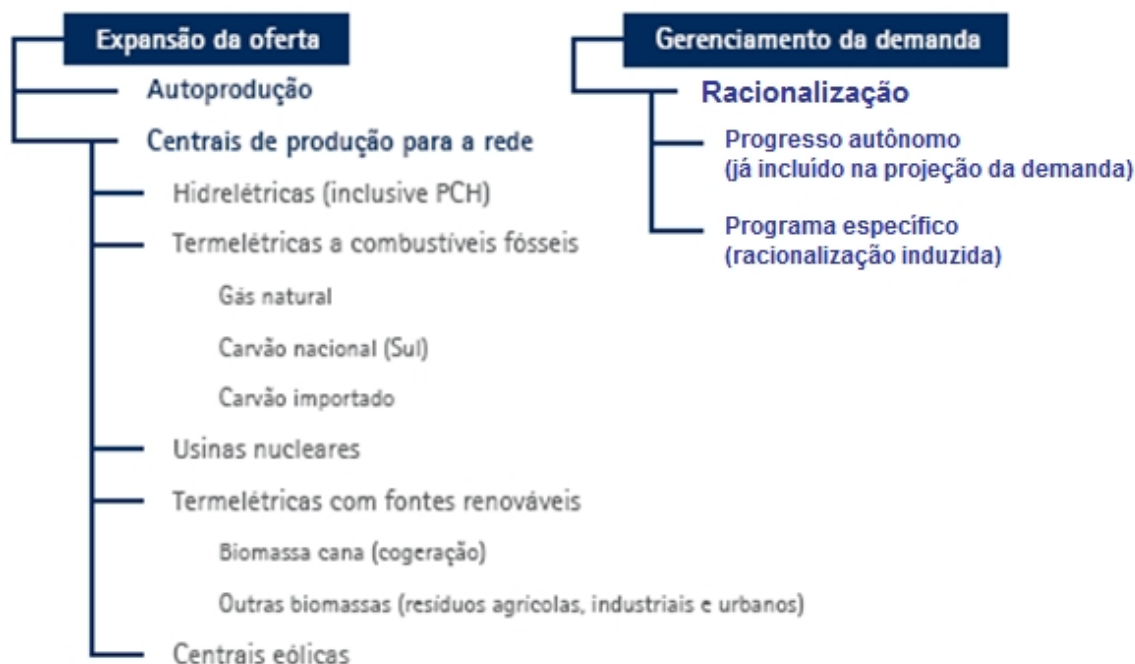


Figura 3 - Alternativas para atendimento à demanda de energia elétrica. (Adaptado de EPE, 2007)

Na rota do gerenciamento da demanda, são duas as possibilidades para aumentar a racionalização do uso de energia e consequentemente reduzir o consumo de energia elétrica: O progresso autônomo, que considera a melhoria da eficiência decorrente de melhores práticas no uso e da progressiva substituição, nos diferentes segmentos da economia e da sociedade, do estoque de equipamentos elétricos por outros de maior eficiência, decorrentes da incorporação de avanços tecnológicos disponíveis no mercado. O valor referente a este tipo de racionalização no uso de energia já está contabilizado nas previsões realizadas e citadas anteriormente; A racionalização induzida considera medidas adicionais ao progresso autônomo, oferecendo um potencial ainda maior. (EPE, 2007)

O uso da energia elétrica com eficiência ganhou importância na agenda mundial desde a década de 70, quando houve os primeiros choques no preço do petróleo,

ficando claro que a exploração das fontes fósseis para geração de energia teria custos cada vez maiores, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Desde então, ficou conhecido que um mesmo serviço poderia ser feito com um menor gasto de energia (iluminação, força motriz, aquecimento, refrigeração etc.), tendo como consequências diretas menores impactos econômicos, ambientais, sociais e mesmo culturais. Com isso, equipamentos e hábitos de consumo passaram a ser analisados também sob o ponto de vista do uso racional da energia, uma vez que medidas nesta direção mostravam ser economicamente viáveis, em que o custo de implantação era menor que o custo da energia cujo consumo seria evitado.

As avaliações da EPE para o PNE 2030 estabelecem que uma parcela equivalente a cerca de 5% (aproximadamente 53 TWh) na projeção total do consumo em 2030, poderiam ser “retiradas” do mercado como resultado de medidas indutoras de eficiência energética. Medidas tomadas no sentido de ampliar esse esforço são não somente desejáveis, mas também necessárias.

Segundo GELLER (1991), aumentar a eficiência energética implica em:

- Reduzir custos de operação nas mais variadas aplicações.
- Reduzir a probabilidade de falta de eletricidade e necessidade de racionamento.
- Reduzir a necessidade de investimentos para o setor público.
- Ajudar as indústrias e os produtos brasileiros a competir no mercado mundial.
- Impactos ambientais e sociais inferiores ao do fornecimento via construção de novas usinas geradoras.

Nas edificações contemporâneas de escritório, a iluminação artificial dos ambientes é responsável por grande parte do consumo de energia junto com o sistema de condicionamento artificial. Isso pode ser revertido quando as edificações são dotadas de dispositivos mais eficazes associados a estratégias de projeto que priorizam o aproveitamento da iluminação e ventilação natural. O uso da luz natural nessas edificações, além de garantir níveis de iluminação adequados para as atividades humanas, reduz a necessidade do uso da luz artificial, que em conjunto com um controle de iluminação artificial eficiente e a influência das aberturas e dos

equipamentos interfere nos ganhos térmicos do ambiente e no consumo total de energia. Vale ressaltar que a luz natural está fartamente disponível no período diurno, horário de uso das edificações não residenciais. (DIDONÉ e PEREIRA, 2010)

Nesse sentido, LI e LAM (2001) mostram que a integração da iluminação artificial com a natural possibilita grandes reduções nos custos com energia elétrica, além de proporcionar um ambiente mais agradável e saudável para seus usuários.

Estudos realizados no setor comercial indicam que nos hipermercados 66,7% possuem potência instalada em iluminação acima de 100 kW, oferecendo grandes oportunidades para ações de eficiência energética no setor de iluminação (PROCEL, 2007).

Neste contexto, não é difícil observar no dia a dia da sociedade brasileira, que o uso irracional de energia nas edificações comerciais é uma prática predominante e considerada normal, não recebendo sua devida atenção pela grande maioria dos usuários, proprietários, construtores e até mesmo projetistas destas edificações. Situações corriqueiras, como ilustrado na Figura 4, acabam não recebendo atenção e mostram que existem grandes potenciais a serem explorados com ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação artificial neste setor.



Figura 4 - Exemplos de situações corriqueiras que ilustram o uso desnecessário de energia elétrica com sistemas de iluminação artificial no setor comercial.

Duas situações que ilustram na prática a possibilidade de exploração do potencial de eficiência energética no setor comercial, e que motivaram todo este trabalho, podem ser visualizadas nas Figuras 4 e Figura 5.

O primeiro hipermercado, da Figura 5, ilustra um exemplo no qual a sua edificação aproveita o uso da iluminação natural disponível e não necessita ligar grande parte do seu sistema de iluminação artificial durante um longo período do dia, gerando uma economia considerável de energia. Ao mesmo tempo, pode-se observar no segundo hipermercado da mesma figura, um exemplo em que o sistema construtivo do hipermercado não possibilita a entrada de iluminação natural, sendo necessária a utilização do sistema de iluminação artificial durante todo o seu período de funcionamento. Ambos hipermercados estão localizados na cidade de Campinas – SP e estas fotos foram tiradas no mesmo dia, com intervalo de 30 minutos.



Figura 5 – Exemplo de um hipermercado que aproveita e outro que não aproveita a iluminação natural disponível.

Na revisão de literatura realizada, foram encontrados poucos estudos que mostrassem resultados práticos do quanto a iluminação natural pode auxiliar na redução do consumo de energia nas edificações comerciais, e nenhuma pesquisa voltada aos hipermercados. Por apresentar uma potência instalada considerável com iluminação artificial e a possibilidade de aproveitamento da iluminação natural, criou-se a motivação para a condução deste estudo no setor de hipermercados.

A capital do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, foi escolhida devido à origem do autor e também por causa da carência de estudos e dados desta natureza na região Centro-Oeste.

Neste trabalho foi adotada a seguinte composição de capítulos: No Capítulo 1 encontra-se a Introdução, onde é apresentada a formulação da questão a ser respondida no decorrer do estudo e a justificativa para escolha do projeto proposto; o Capítulo 2 apresenta os objetivos do trabalho; o Capítulo 3 é composto pela revisão bibliográfica que deu sustentação à pesquisa; o Capítulo 4 apresenta a metodologia que foi utilizada para desenvolver a pesquisa e o levantamento de informações de caráter experimental, contendo a descrição dos equipamentos e demais métodos utilizados; o Capítulo 5 apresenta a discussão dos resultados obtidos através das medições realizadas; o Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho; o Capítulo 7 sugere algumas ideias para o desenvolvimento de trabalhos futuros; o Capítulo 8 exhibe a lista das referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho e o Capítulo 9 apresenta os apêndices com maiores detalhes sobre os hipermercados e as medições de iluminância e de consumo de energia.

2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral:

- Estudar as características dos sistemas de iluminação em dois hipermercados na cidade de Campo Grande – MS, analisando a eficiência energética destes sistemas levando em consideração as diferentes estratégias utilizadas tanto na iluminação natural quanto artificial.

Para atingir o objetivo geral, foram levantados os seguintes objetivos específicos:

- Levantar as características do mercado consumidor de energia elétrica no estado do Mato Grosso do Sul e em sua capital.
- Levantar e medir o consumo energético nos circuitos de iluminação, e os níveis de iluminação interno aos dois hipermercados estudados.
- Levantar as características de consumo com iluminação artificial e as possibilidades de redução no consumo de energia elétrica para estas finalidades.
- Avaliar o sistema de iluminação artificial (combinação luminária-lâmpada-reator) e a contribuição da iluminação natural em cada estudo de casos.
- Analisar cada um dos casos de acordo com os pré-requisitos do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de edifícios Comerciais, de serviços e Públicos (RTQ-C) referentes ao sistema de iluminação.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. O consumo de energia elétrica no Brasil

Para analisar o consumo de energia elétrica no Brasil, é necessário avaliar os comportamentos históricos, as previsões futuras e o atual mercado consumidor de energia elétrica no país, que serão detalhados a seguir.

Segundo a EPE (2006), a economia brasileira experimentou intensa expansão na década de 70, algo em torno de 8,6% ao ano em média, principalmente devido aos avanços obtidos no parque industrial nacional com os Planos Nacionais de Desenvolvimento I e II. Esta expansão traduziu-se em um crescimento médio de 12% ao ano no consumo de energia elétrica no país, sendo que o setor industrial apresentou maior crescimento entre os anos 1970 e 1980, com valores médios de 13,3% ao ano.

Na década de 80, o setor industrial sustentou crescimentos anuais elevados, considerando o contexto de crise pelo qual passava. Este crescimento ocorreu principalmente devido à intensificação do uso da energia elétrica associado à modernização industrial, ao atendimento à expansão do parque industrial iniciado na década anterior e ao desenvolvimento das indústrias eletrointensivas voltadas para exportação. O crescimento médio do consumo de energia no setor industrial foi inferior ao dos setores comercial e residencial, refletindo na redução da participação percentual deste setor no consumo de energia. Neste período, destacou-se o setor residencial por ter apresentado uma taxa média de crescimento de 7,7% ao ano no consumo de energia elétrica.

Na década de 90 destacou-se o setor comercial por apresentar uma taxa de crescimento médio de 7,1% ao ano no consumo de energia elétrica, devido à crescente tendência de terceirização da economia, tendo como fatores significativos a modernização acelerada no setor de serviços, a expansão da indústria dos *shopping centers*, a ampliação do horário de funcionamento do comércio e o incremento do

turismo. Já o setor residencial apresentou, neste mesmo período, uma taxa de crescimento médio de 5,6% ao ano, basicamente devido à reestabilização dos preços com a implantação do Plano Real, a transferência de parte das reservas do sistema financeiro especulativo para o mercado de consumo de bens duráveis e ao aumento nas vendas de aparelhos eletroeletrônicos.

A primeira década do século 21 foi marcada logo em seu início pelo racionamento ocorrido em 2001, tendo duração de nove meses e reflexo direto no consumo em todos os segmentos, principalmente no residencial. A recuperação do mercado após o racionamento se deu de forma distinta entre os setores, sendo todo este comportamento histórico comentado ilustrado pelos gráficos na Figura 6.

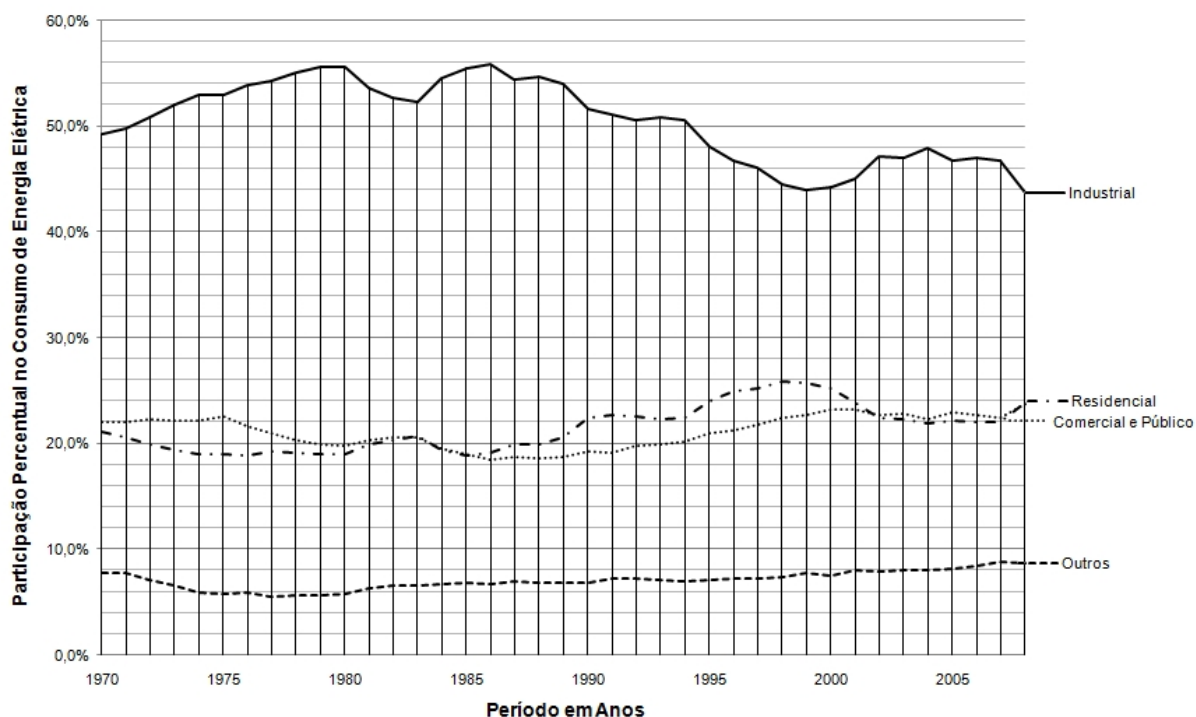


Figura 6 - Evolução na participação do consumo percentual. (Adaptado de BEN, 2008)

De acordo com o PNE 2030 (2007), o consumo de energia elétrica no Brasil deve evoluir de aproximadamente 412 TWh, em 2007, para valores entre 850 e 1.250 TWh em 2030, conforme ilustrado na Figura 7.

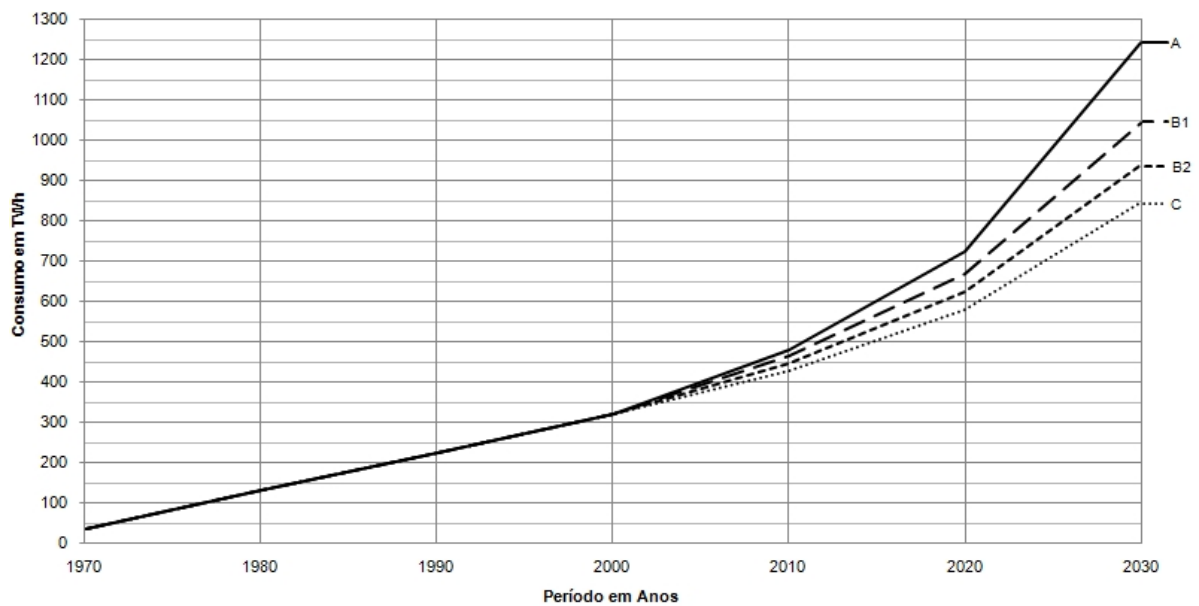


Figura 7 - Projeção do consumo final de energia no Brasil para os cenários A, B1, B2 e C.
(Adaptado de EPE, 2007)

É importante observar que estas previsões do consumo de eletricidade já levam em consideração certa redução em seu volume associado a um progresso autônomo do uso racional de energia. Também foi considerada a melhoria da eficiência decorrente das melhores práticas no uso e da progressiva substituição nos diferentes segmentos da economia e da sociedade, do estoque de equipamentos elétricos por outros de maior eficiência, decorrentes da incorporação de avanços tecnológicos disponíveis no mercado.

Estes valores variam de acordo com o cenário macroeconômico tomado por referência, conforme ilustra a Tabela 1.

Tabela 1– Caracterização dos cenários macroeconômicos nacionais. (Adaptado de EPE, 2007)

Incerteza Crítica	Denominação dos Cenários			
	A Super Otimista	B1 Otimista	B2 Neutro	C Pessimista
Infraestrutura	Redução significativa dos gargalos	Gargalos parcialmente reduzidos	Permanência de gargalos importantes	Deficiência relevante
Desigualdades de renda	Redução muito significativa	Redução relevante	Redução pequena	Manutenção
Competitividade dos fatores de produção	Ganhos elevados e generalizados	Ganhos importantes, porém seletivos	Ganhos pouco significativos e concentrados em alguns setores	Baixa, embora com ganhos concentrados em alguns setores
Produtividade total da economia	Elevada	Média para elevada	Média para reduzida	Reduzida

Para cada segmento da sociedade, um diferente ritmo de penetração da eficiência será atingido de acordo com o cenário considerado. Conforme ilustra a Figura 8, os valores acumulados referentes ao progresso autônomo do uso racional de energia são significativos. Tomando o cenário B1 como exemplo, estima-se que poderá ser atingido em 2030, por volta de 56 TWh, o equivalente a 5% do consumo nacional projetado para esse ano, ou ao consumo atual das regiões Sul ou Nordeste do país, ou ainda ao consumo de um país como a Grécia. Adicionalmente, pode-se afirmar que esse volume de energia economizada significa que, entre 2010 e 2030, logra-se evitar investimentos no setor elétrico que, apenas no segmento de geração, correspondem a algo entre US\$ 15 e US\$ 18 bilhões, se tomado como base de cálculo a potência hidrelétrica equivalente de 11.600MW ou a nuclear, de 8.000 MW.(EPE,2007)

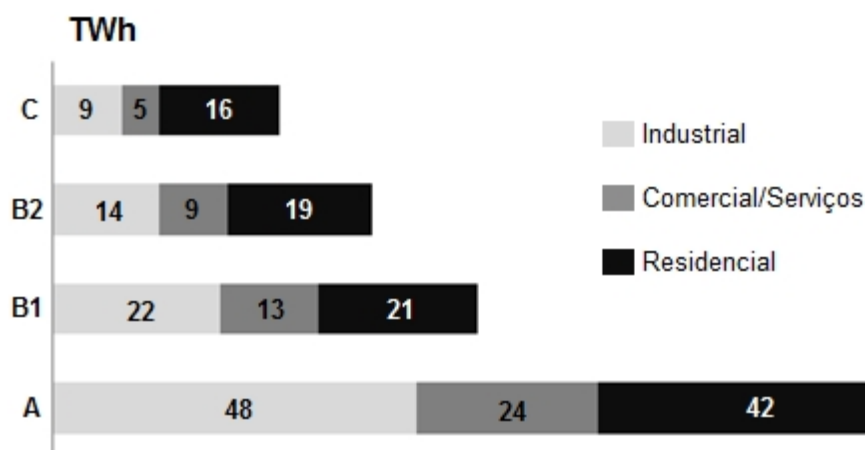


Figura 8 – Economia de energia proporcionada pelo progresso autônomo em 2030.
(Adaptado de EPE, 2007)

O cenário B1, ilustrado pela Tabela 2, apresenta as projeções de consumo de eletricidade pelos setores da economia brasileira considerando o consumo final a ser atendido pelo sistema elétrico.

Tabela 2 - Projeção do consumo de eletricidade por setor. (Adaptado de EPE, 2007)

(TWh)	2005	2010	2020	2030	2005-2030 % ao ano
Residencial	83,2	105,2	169,1	283,3	5,0
Industrial	145,1	197,1	272,6	357,7	3,7
Comercial e público	86,2	107,3	159,6	267,3	4,6
Outros*	16,9	19	26,1	38,3	3,3
Total	331,4	428,6	627,4	946,4	4,3

*Outros - inclui rural (agropecuária) e iluminação pública.

Nestas projeções, o setor residencial é o que apresenta o maior crescimento no período, justificado pelas hipóteses consideradas pelo cenário B1, já citadas.

Entende-se que há diversas barreiras (institucionais, tarifárias, financeiras, acesso à tecnologia etc.) a serem vencidas, as quais talvez possam inibir o aproveitamento de todo este potencial. Resultados como estes evidenciam a

possibilidade de se “retirar” uma parcela do consumo por meio de medidas na área de eficiência energética, cujo esforço é não somente desejado, mas também necessário.

A estrutura do mercado nacional de fornecimento de energia elétrica no ano de 2010, segundo a EPE, apresentou-se dividida da seguinte forma: a região Sudeste como responsável por 53,7% do consumo total de energia elétrica, as regiões Nordeste (16,9%) e Sul (16,9%) foram responsáveis por 33,8% deste total, e as regiões Norte (6,2%) e Centro-Oeste (6,3%) foram responsáveis por 12,5% deste total. A Tabela 3 ilustra estas e outras informações relevantes sobre o mercado consumidor brasileiro.

Tabela 3 – Dados sobre o mercado consumidor brasileiro em 2010. (Adaptado de EPE, 2010)

Região	Norte	Nordeste	Sudeste	Centro-Oeste	Sul
Área [mil km²]	3.870	1.558	925	1.606	578
População [Milhões]	15,9	53,1	80,3	14	27,3
PIB/capta [mil R\$]*	10,2	7,5	21,2	20,3	18,3
Consumo [GWh]	25.914	70.993	225.108	26.199	70.803
Consumo Percentual [%]	6,2	16,9	53,7	6,3	16,9
Residencial [%]	22,8	27,2	25,2	30,9	24,1
Industrial [%]	50,4	41,4	46,1	25,3	43,6
Comercial [%]	13,5	14,5	16,9	20,9	16,6
Outros [%]	13,3	16,9	11,8	22,9	15,7

*PIB/capta referente ao ano de 2008.

É interessante observar que a região Sudeste, apesar de ainda apresentar o maior nível de consumo de energia elétrica, vem perdendo gradativamente sua participação desde os anos 70. De acordo com EPE (2010), em 1970 a região sudeste tinha uma participação percentual de 78%, passando para 70%, 63%, 57%, respectivamente em 1980, 1990, 2000, atingindo finalmente o nível de 53,7% em 2010. Em segundo e terceiro lugar, tem-se as regiões Nordeste e Sul, apresentando um percentual próximo de 17% cada, ficando em quarto e quinto lugar as regiões Norte e Centro-Oeste, que também apresentam um percentual próximo a 6% cada.

De acordo com SOARES *et al* (2009), o Brasil é o único país da América do Sul e um dos poucos do mundo que trabalha no tema de eficiência energética desde a década de 80, sem sofrer descontinuidade, como aconteceu com a maioria dos países

desenvolvidos que somente retomaram suas atividades a partir do ano 2000, impulsionados pelos protocolos internacionais de redução da emissão de gases de efeito estufa.

Embora o país de menor experiência no tema seja o de menor PIB (Bolívia), e o de maior experiência seja o de maior PIB (Brasil), percebeu-se que os avanços em eficiência energética não estão obrigatoriamente associados ao desenvolvimento socioeconômico. A análise dos indicadores per capita mostra que países com altos PIB per capita como Venezuela, Uruguai e Chile tem tido menos desenvolvimento do tema que países com estes indicadores mais baixos, como Argentina e Peru.

Tabela 4- Dados socioeconômico dos Países da América do Sul (2005).
(Adaptado de SOARES *et al*,2009)

País	População	PIB ²	Extensão Territorial ³	Consumo de E.E. ^{1,4}	PIB per capita ⁵	Consumo de E. E. ¹ per capita ⁶
Argentina	38.747.000	183.310,00	2.766.889	81.650,00	4.730,95	2.107,26
Bolívia	9.182.000	9.728,00	1.098.581	4.062,20	1.059,46	442,41
Brasil	184.184.264	886.549,00	8.514.876	375.200,00	4.813,38	2.037,09
Chile	16.295.000	111.339,00	756.945	42.785,00	6.832,71	2.626,65
Colômbia	45.600.000	121.877,00	1.138.914	38.962,00	2.672,74	854,43
Equador	13.228.000	33.062,00	283.561	9.456,26	2.499,40	714,87
Paraguai	5.953.641	8.215,00	406.752	4.741,00	1.379,83	796,32
Peru	27.946.774	43.485,00	1.285.216	20.701,00	1.555,99	740,73
Uruguai	3.463.000	16.792,00	177.414	6.515,00	4.848,97	1.881,32
Venezuela	26.749.000	132.373,00	912.050	70.632,00	4.948,71	2.640,55

¹ E.E. = Energia Elétrica

² PIB em Milhões de US\$

³ Extensão territorial em km²

⁴ Consumo de energia elétrica em GWh/ano

⁵ PIB per capita em US\$/habitante

⁶ Consumo de energia elétrica per capita em kWh/ano/habitante

A Tabela 5 mostra a segmentação dos setores de maior representatividade no consumo de energia elétrica nos países da América do Sul. Percebe-se que o setor residencial tem grande importância em países como Colômbia, Paraguai, Equador, Uruguai e Bolívia, sendo que o setor industrial se apresenta mais importante no Brasil, Chile, Venezuela, Argentina e Peru. Estes dados podem ser utilizados como critério de

priorização de recursos financeiros para ações de eficiência energética. (SOARES *et al*, 2009)

Tabela 5 - Participação dos Setores no consumo de energia elétrica (2005).
(Adaptado de SOARES *et al*, 2009)

Ano	País	Residencial(%)	Comercial(%)	Industrial(%)	Outros(%)
2005	Argentina	29,1	19,3	40,5	11,1
2005	Bolívia	40,0	18,0	28,0	14,0
2005	Brasil	22,2	14,3	46,7	16,8
2005	Chile	16,0	10,0	65,0	9,0
2004	Colômbia	40,95	23,53	31,89	3,63
2004	Equador	40,65	20,92	21,11	17,32
2005	Paraguai	40,9	18,6	26,3	14,2
2005	Peru	28,5	18,5	41,7	11,3
2005	Uruguai	41,6	28,5	26,2	3,7
2004	Venezuela	24,33	14,7	47,28	13,69

Além dos dados socioeconômicos, SOARES *et al* (2009) também apresentam outros dados específicos sobre o tema, tais como legislação, programas de etiquetagem, programas oficiais, prêmios e campanhas educacionais, e demais experiências encontradas em cada país, que se encontra sumarizado na Tabela 6.

Percebe-se, pela Tabela 6, que o Brasil é o país que está melhor posicionado sobre o tema na América do Sul, sendo o país que tem o melhor arcabouço legal entre os países pesquisados, possuindo leis para financiamento e índices mínimos de equipamentos.

SOARES *et al* (2009) destacam que a inexistência de fontes de financiamento para projetos de eficiência energética predomina na maior parte dos países pesquisados. Poucos países possuem essa característica já estabelecida em algum mecanismo bancário ou governamental, fato esse que prejudica a implantação efetiva de programas mais robustos, a criação de laboratórios especializados, bem como inibe o funcionamento do mercado de serviços e consultoria na área.

Tabela 6 - Experiências no tema Eficiência Energética. (Adaptado de SOARES *et al*, 2009)

País	Leis	Etiquetagem (número de equipamentos)	Programas Setoriais Governo	Programas Setoriais Concessionárias	Edificações	Linhas de Financiamentos	Prêmios Nacionais
Argentina	7	7	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Bolívia	0	0	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
Brasil	41	22	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Chile	0	7	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM
Colômbia	13	11	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO
Equador	0	2	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
Paraguai	0	0	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Peru	2	11	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
Uruguai	0	0	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
Venezuela	1	2	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO

Existe uma grande deficiência na capacitação técnica dos profissionais envolvidos no assunto, destacando a pequena quantidade de literatura específica em praticamente todos os países, com destaque positivo para o Brasil, que já desenvolveu uma grande quantidade de guias técnicos, manuais para vários setores da sociedade e também uma grande rede de laboratórios equipados e credenciados para a realização de ensaios em equipamentos eficientes. (SOARES *et al*, 2009)

A América do Sul tem muitas necessidades e oportunidades nesta área, sendo este tema uma poderosa ferramenta de integração regional e pode colaborar muito para a sustentabilidade energética de cada região.

3.2. O consumo de energia elétrica nas edificações brasileiras

De acordo com dados do PROCEL (2008), as edificações dos setores residencial, comercial e públicas apresentam um percentual sobre o total do consumo de energia elétrica produzido no país de 22,3%, 14,6% e 8,1% respectivamente, sendo responsáveis pela significativa parcela de 45% do consumo de energia elétrica no

Brasil. Consumo este que se dá principalmente em forma de iluminação artificial e climatização de ambientes.

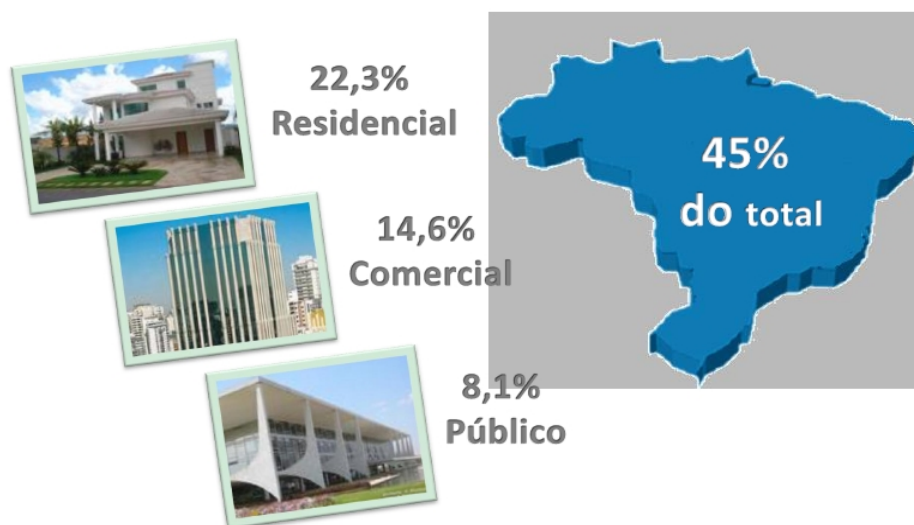


Figura 9 - Distribuição do consumo de energia elétrica nas edificações. (PROCEL, 2008)

Segundo LAMBERTS e CARLO (2005), o aumento do consumo de energia nas edificações está atrelado ao crescimento do PIB, indicando uma grande relação entre o crescimento da economia nacional e no consumo de energia elétrica nas edificações que promovem este crescimento.

O atual cenário de crescimento econômico presente no país indica que este nível de consumo tende a crescer cada vez mais, sendo necessário o aumento na capacidade instalada de energia elétrica para suprir as crescentes demandas energéticas.

Desta forma, pode-se observar um grande potencial de redução no consumo de energia devido às parcelas que cabem às edificações brasileiras, sejam elas do setor residencial, comercial ou público.

3.2.1. Edificações comerciais

Dentro dos 14,6% consumidos pelas edificações comerciais no país, encontram-se diversos estabelecimentos que são atendidos em média tensão como hotéis, hospitais, *shopping centers*, supermercados, edifícios de escritórios, instituições de ensino e bancos, nos quais 86,7% possuem uma demanda máxima inferior a 500 kW, conforme ilustra a Tabela 7. (PROCEL, 2008)

Tabela 7 – Percentual de consumo por faixa de demanda máxima. (Adaptado de PROCEL, 2008)

Tipo de instalação	Demanda Máxima (kW)				
	< 500	500 a 1000	1001 a 2500	2501 a 5000	5001 a 10000
Hotel/Motel	92,9 %	6,1 %	1 %	0 %	0 %
Hospital/Clínica	87,2 %	10,6 %	2,2 %	0 %	0 %
Shopping Centers	35,9 %	20,5 %	23,1 %	15,4 %	5,1 %
Super/Hipermercado	84,1 %	10,5 %	5,4 %	0 %	0 %
Escritórios	76,8 %	11,0 %	10,9 %	1,3 %	0 %
Instituição de Ensino	92,5 %	6,0 %	1,5 %	0 %	0 %
Loja Varejo	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Loja Atacado	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Entretenimento	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Restaurante	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Bancos	92,7 %	4,3 %	2,4 %	0,6 %	0 %
Total	86,7 %	8,2 %	4,1 %	0,8 %	0,2 %

Também foi observada uma correlação entre a demanda das empresas e o número de colaboradores, de forma que 98% das empresas de pequeno porte (até 100 colaboradores) possuem demanda inferior a 500 kW. Entre as empresas de médio porte (101 a 500 colaboradores) 73% apresentam demanda inferior a 500 kW e 19% entre 500 a 1.000 kW. Já nas empresas de grande porte (acima de 500 colaboradores), 24% apresentam demanda inferior a 500 kW, 37% está entre 500 a 1.000 kW e 39% caracteriza-se com demanda acima de 1.000 kW. (PROCEL, 2008)

Com relação à idade das instalações, 56.8% das empresas possuíam idade inferior a 10 anos de operação, sendo a idade média geral das instalações de 14.1 anos. Dentre as edificações comerciais mais antigas encontram-se hospitais e instituições de ensino fundamental que possuem idade média acima de 20 anos. Por outro lado, as edificações mais representativas em termos de consumo de energia e com instalações mais novas foram os supermercados e hipermercados.

Edificações mais novas possuem maiores chances de serem mais eficientes que as edificações mais antigas, pois tiveram acesso a equipamentos (refrigeração e iluminação) cujas tecnologias incorporadas são mais recentes e mais evoluídas no quesito eficiência energética. Desta forma, os supermercados e hipermercados, por possuírem uma idade média menor que as outras edificações comerciais, apresentam elevadas chances de terem maiores níveis de eficiência energética em suas instalações. (PROCEL, 2008)

A Tabela 8 apresenta os percentuais de participação do custo de energia elétrica nos custos totais de operação das empresas, em que 36.3% situam-se na faixa de 5 a 10%, 24.6% estão na faixa de 11 a 20% e outras 23.2% estão na faixa inferior a 5%. Na média, pode-se considerar que as edificações comerciais apresentam 14.1% de seus custos operacionais referentes à energia elétrica. (PROCEL, 2008)

Os sistemas de condicionamento de ar, que representam em média 47% do consumo das edificações comerciais, apresentam um forte potencial de economia nestas instalações, sendo que a combinação entre a redução de carga térmica, o uso de tecnologias eficientes de geração de frio e o melhor controle destes sistemas podem oferecer resultados significativos, sem comprometer o desempenho e o conforto térmico provido aos usuários destas edificações. A exemplo disso, o uso de compressores mais eficientes e sistemas de armazenamento térmico (termo acumulação) podem ser atraentes em grandes instalações comerciais, como em supermercados e hipermercados, hospitais, hotéis e *shopping centers*. (PROCEL, 2008)

Tabela 8 – Percentual de consumidores por participação de energia no custo total.
(Adaptado de PROCEL, 2008)

Tipo de Instalação	Participação percentual da energia no custo total					
	< 5%	5 a 10%	11 a 20%	21 a 30%	> 30%	Média
Hotel	6,7	34,5	35,3	8,4	15,1	19,3
Motel	0,0	31,3	56,3	6,3	6,3	14,9
Hospital	33,3	35,1	14,0	7,0	10,5	12,5
Clínica	20,8	50,0	16,7	8,3	4,2	11,7
Shopping Center	17,2	27,6	24,1	10,3	20,7	20,5
Supermercado	45,9	37,7	6,6	0,8	9,0	11,0
Hipermercado	16,7	16,7	66,7	0	0	15,0
Escritórios	17,5	29,8	26,3	15,8	10,5	15,7
Instituição de ensino superior	15,2	23,9	47,8	4,3	8,7	15,0
Instituição de ensino fundamental	13,3	46,7	24,4	11,1	4,4	13,3
Loja de Varejo	60,0	20,0	0,0	0,0	20,0	15,9
Entretenimento	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	20,0
Banco	25,0	43,3	23,3	2,5	5,8	10,6
Total	23,2	36,3	24,6	6,2	9,7	14,1

Os sistemas de iluminação artificial, que representam em média 22% do consumo nas edificações comerciais, costuma ser responsável pela segunda maior parcela no consumo de energia elétrica neste setor, apresentando grandes possibilidades para ações de eficiência energética. A iluminação é a categoria de carga onde se consegue obter resultados com maior facilidade, sendo possível atingir reduções da ordem de até 60% no consumo de energia. (PROCEL, 2008)

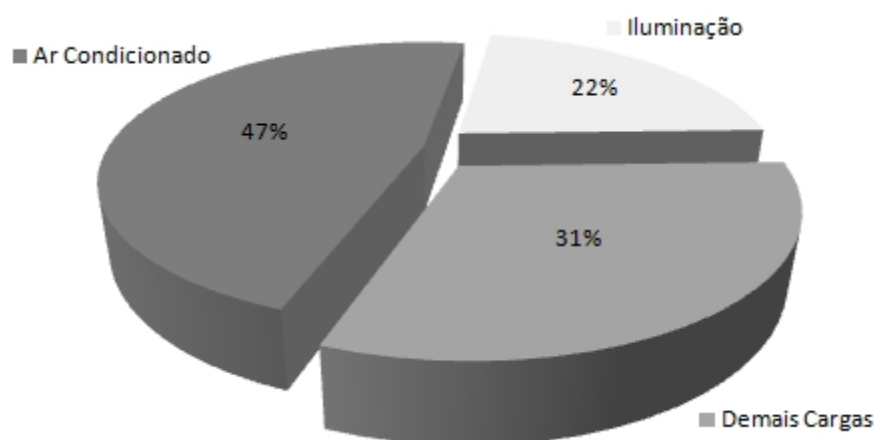


Figura 10 – Distribuição do consumo por uso final de energia no setor comercial. (PROCEL, 2008)

A Tabela 9 mostra os tipos de lâmpadas mais utilizadas e suas predominâncias nos ambientes internos e externos das edificações comerciais. Vale ressaltar que na maioria dos edifícios comerciais, os sistemas de iluminação são constituídos por lâmpadas fluorescentes tubulares para iluminação de áreas internas (72,5% dos casos) e das áreas externas (27,7% dos casos), acompanhadas das lâmpadas de vapor de mercúrio e mistas, que correspondem respectivamente a 14,0% e 13,4% dessas áreas. Considerando-se as lâmpadas fluorescentes em geral (compactas e tubulares), sua presença representa quase 70% das lâmpadas utilizadas no setor. (PROCEL, 2008)

Tabela 9 - Iluminação predominante por tipo de área (%). (Adaptado de PROCEL, 2008)

Tipo de Iluminação	Interna	Externa	Total
Incandescente	8,5	10,7	9,4
Fluorescente Compacta	15,8	11,8	14,1
Dicroica	1,4	0,8	1,2
Fluorescente tubular	72,5	27,7	54,0
Mista	0,1	13,4	5,6
Vapor de Mercúrio	0,2	14,0	5,9
Vapor de Sódio	0,1	9,0	3,8
Vapor Metálico	0,8	9,5	4,4
Outra	0,5	3,1	1,6
Total	100	100	100

Analizando a potência instalada referente aos sistemas de iluminação, verifica-se uma predominância de 40.9% das empresas pesquisadas situadas na faixa de 10 a 50 kW e outros 20.0% situadas na faixa de 5 a 10 kW, sendo que a média da potência instalada em iluminação é de cerca de 42.5 kW, conforme ilustra a Tabela 10.

Tabela 10 – Percentual de consumidores por potência nominal instalada em iluminação (%).
(Adaptado de PROCEL, 2008)

Tipo da Instalação	Potência nominal Instalada em Iluminação (W)					
	< 1.000	1.001 a 5.000	5.001 a 10.000	10.000 a 50.000	50.000 a 100.000	> 100.000
Hotel	2,4%	22,2%	15,8 %	39,8 %	9,9 %	9,9 %
Motel	5,0 %	40,0 %	15,0 %	40,0 %	0,0 %	0,0 %
Hospital	1,2 %	17,6 %	17,6 %	45,9 %	11,8%	5,9 %
Clínica	8,0 %	36,0 %	30,0 %	22,0 %	4,0 %	0,0 %
Shopping Center	0,0 %	2,9 %	8,8 %	23,5 %	23,5 %	41,3 %
Supermercado	0,6 %	18,5 %	23,2 %	43,5 %	6,0 %	8,3 %
Hipermercado	0,0 %	0,0 %	11,1 %	22,2 %	0,0 %	66,7%
Escritório/Consultório	1,3 %	17,7 %	20,3 %	38,0 %	15,2 %	7,5 %
Inst. Ensino Superior	1,4 %	4,3 %	14,3 %	40,0 %	18,6 %	21,4 %
Inst. Ensino Fundamental	0,0 %	10,3 %	12,1 %	69,0 %	6,9 %	1,7 %
Loja de Varejo	0,0 %	22,2 %	22,2 %	22,2 %	33,4 %	0,0 %
Loja de Atacado	0,0 %	50,0 %	50,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Entretenimento	0,0 %	50,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	50,0 %
Restaurante	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Bancos	1,9 %	22,6 %	27,0 %	41,6 %	1,9 %	5,0 %
Total	1,7 %	18,9 %	20,0 %	40,9 %	8,9 %	9,5 %

A Figura 11 ilustra a participação da carga de iluminação em relação à demanda máxima da instalação, onde a média geral no setor comercial ficou em 17%.

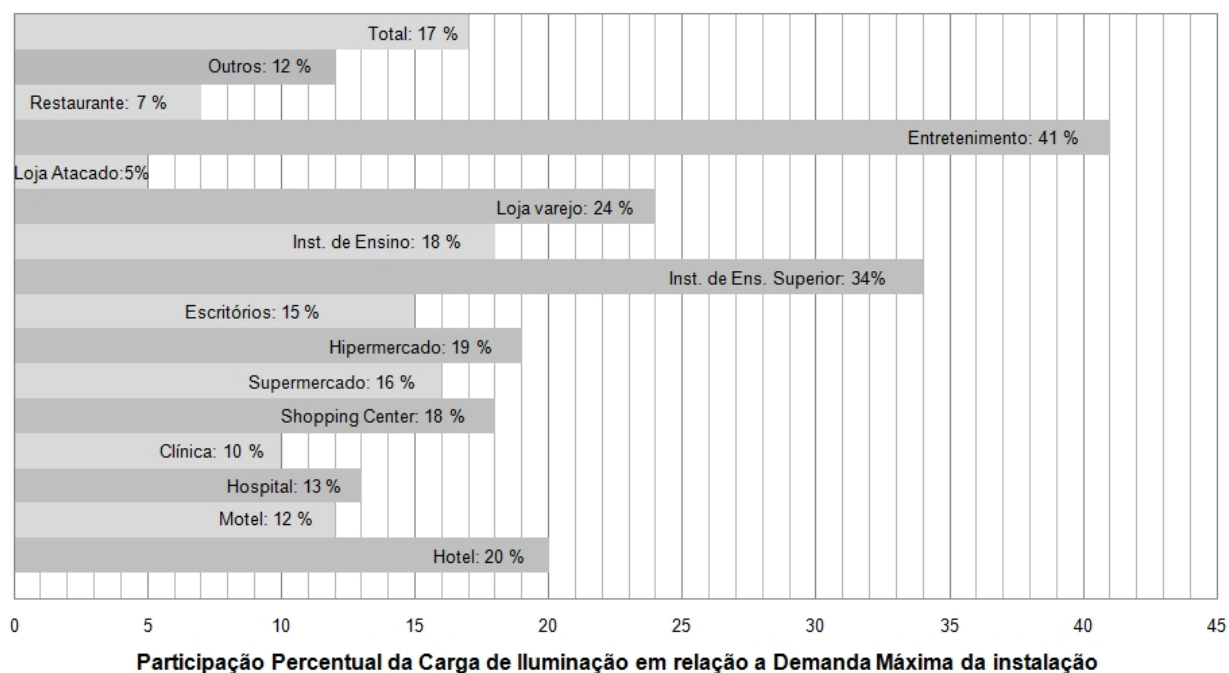


Figura 11 - Média da carga de iluminação em relação à demanda máxima das instalações.
(Adaptado de PROCEL, 2008)

Desta forma, pode-se evidenciar a importância das cargas de iluminação no setor comercial, oferecendo oportunidades para ações de eficiência energética.

3.2.2. Supermercados e hipermercados

Segundo dados do PROCEL (2007), 84% dos supermercados e hipermercados possuem uma demanda máxima inferior a 500 kW, 10.4% estão na faixa de 500 e 1.000 kW, 3.8% estão entre 1.000 e 1.500 kW e apenas 1.6% está na faixa de 1.500 a 2.000 kW.

Um fator que influencia a propensão de investimento em medidas de eficiência energética, segundo o PROCEL (2007), é a participação do custo da energia elétrica nos custos operacionais do empreendimento. A Tabela 8 mostra que em 66,7% dos hipermercados, o custo com energia elétrica tem uma participação de 11 a 20% nos

custos totais, o que justifica a adoção de técnicas, rotinas e tecnologias que reduzam o consumo de energia e seus respectivos custos.

Segundo o PROCEL (2007), o gerenciamento energético é uma ação indispensável para identificar oportunidades na melhoria do desempenho energético das instalações, com consequentes reduções nos custos operacionais. Entre os estabelecimentos pesquisados, 26% dos supermercados e 44.4% dos hipermercados indicaram a existência de uma comissão interna de conservação de energia (CICE) ou de algum outro grupo que tenha como atribuição analisar o desempenho energético da instalação.

A melhoria da eficiência energética foi colocada entre as duas prioridades para a instalação por 63.6% dos supermercados e 66.7% dos hipermercados, sendo que quando questionados sobre o tempo de retorno de investimento considerado como razoável para a implantação de projetos de eficiência energética, 25.4% consideram até 6 meses, 18.2% consideram no máximo 1 ano e 27% até 2 anos. (PROCEL, 2007)

Com relação à potência instalada nos circuitos de iluminação, 43.4% dos supermercados se enquadraram na faixa de 10 a 50 kW, enquanto que 66.7% dos hipermercados apresentaram-se na faixa acima de 100 kW, sendo o valor médio da potência instalada de 34 kW para os supermercados e 236 kW para os hipermercados. Levando em consideração a relação de demanda máxima com potência instalada nos sistemas de iluminação artificial, obteve-se 16 % para os supermercados e 19 % para os hipermercados, conforme ilustra a Figura 11. (PROCEL, 2007)

Desta forma, os hipermercados possuem grande participação percentual dentro do grupo de edificações comerciais que detém as maiores potências instaladas com iluminação artificial (acima de 100 kW), apresentando potencial para ações de eficiência energética.

3.2.3. Programa nacional de eficiência energética em edificações

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) promove a racionalização do consumo de energia elétrica para combater o desperdício e reduzir os custos e os investimentos setoriais. Criado pelo governo federal em 1985, é executado pela Eletrobrás, com recursos da empresa, da Reserva Global de Reversão (RGR) e de entidades internacionais.

Até 2008, a atuação do PROCEL possibilitou a economia de 4,37 bilhões de kWh, o suficiente para abastecer 2,5 milhões de residências por um ano. O resultado se deve especialmente ao Selo Procel, com a indicação de eletrodomésticos e lâmpadas de consumo reduzido de energia.

O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA foi instituído em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL e atua em conjunto com o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as Universidades, os Centros de Pesquisa e entidades das áreas governamentais, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil.

O PROCEL vem atuando na promoção do uso racional da energia elétrica nas edificações desde a sua fundação, tendo, com a criação do programa PROCEL EDIFICA, ampliado e organizado o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente.

O PROCEL EDIFICA é um plano de ação para eficiência energética em edificações que visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações no Brasil (LABEEE, 2009). No caso particular das edificações comerciais, foram desenvolvidos o regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) e seus documentos complementares que estão disponibilizados no site do INMETRO. O RTQ-C especifica requisitos técnicos e métodos para a classificação de edifícios comerciais,

de serviços e públicos, tendo a área útil mínima de 500 m² ou atendidos por tensão superior ou igual a 2,3 KV, com o objetivo de criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética nestes edifícios. Estes edifícios são classificados levando em consideração os sistemas de envoltória, de iluminação artificial e de condicionamento de ar. Todos estes sistemas possuem níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) (INMETRO, 2010).

O RTQ-C contém dois métodos para avaliação de edificações: o método prescritivo e o método de simulação. O método prescritivo viabiliza a determinação simplificada do nível de eficiência e, consiste de uma série de parâmetros predefinidos ou a calcular que indicam a eficiência do sistema. Este método foi estabelecido como um conjunto de regras gerais para identificar a eficiência do edifício e aplica-se a grande maioria de tipologias construídas atualmente no país. No entanto, ela não abrange todas as soluções possíveis de existir em um edifício, e muitos casos só poderão ser avaliados pela simulação.

O método de simulação é considerado, no RTQ-C, como o método mais completo para qualquer análise do desempenho térmico e/ou energético do edifício, proporcionando flexibilidade nas opções que visam à racionalização do consumo de energia e possibilitando incluir soluções que não foram incluídas no método prescritivo. A simulação permite o estudo nos casos de edificações com volumetrias, aberturas ou proteções solares mais complexas. Permite também maior flexibilidade no projeto do condicionamento de ar e também na avaliação das condições passivas de condicionamento, como estratégias bioclimáticas envolvendo a ventilação natural ou forçada, inércia térmica para aquecimento ou resfriamento, o aproveitamento da luz natural ou até mesmo o uso de tubos enterrados para climatização artificial. (CARLO e LAMBERTS, 2010)

Neste trabalho, foram avaliados apenas os requisitos com referência ao sistema de iluminação dos hipermercados, não levando em conta o sistema de condicionamento de ar e de envoltória.

Um edifício com um sistema eficiente de iluminação deve fornecer os níveis adequados de iluminância para cada tarefa a ser desenvolvida, conforme orienta a NBR5413, consumindo o mínimo de energia e também gerando a menor carga térmica possível. O método de avaliação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação utiliza cálculos envolvendo a eficiência do projeto luminotécnico e avalia pré-requisitos específicos. Estes procedimentos serão descritos em maiores detalhes no item 4.9.

3.3. O conceito de iluminação eficiente

Nos últimos anos, diversos foram os avanços tecnológicos dos sistemas eletrônicos, lâmpadas e demais equipamentos utilizados com a finalidade de iluminação, permitindo um crescente nível de eficiência energética em suas aplicações. Para que se tenha eficiência no uso destes sistemas, deve-se buscar: a integração da iluminação artificial de forma a complementar a iluminação natural quando necessário; o uso das tecnologias mais eficientes possíveis, levando em consideração a combinação das luminárias, lâmpadas e reatores quando utilizados; o uso de sistemas de automação e gerenciamento dos sistemas de iluminação, evitando o acionamento inadequado da iluminação quando não for necessário, além de manter o controle dos gastos com esta finalidade.

Importantes entidades que contribuem para o desenvolvimento dos conceitos e boas práticas nas diversas áreas dos sistemas de iluminação como o *Lighting Research Center* e o *Illuminating Engineering Society of North America*, merecem uma breve explicação de suas atuações.

O *Lighting Research Center* (LRC) é um centro de pesquisas pertencente ao *Rensselaer Polytechnic Institute*, localizado nos EUA, na cidade de Nova York, que atua desenvolvendo pesquisas e programas de ensino relacionados à área de iluminação desde 1988. (LRC,2011)

A *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA) é reconhecida como autoridade técnica na área de iluminação, com quase 8.000 membros e mais de 100 anos de atuação nos Estados Unidos, Canadá, México e outros lugares no mundo.

3.3.1. Iluminação artificial complementar à natural

O controle da iluminação artificial de forma integrada à iluminação natural é uma estratégia mundialmente reconhecida, importante e de extrema utilidade para o desenvolvimento de edificações energeticamente eficientes. Diversos trabalhos têm comprovado que o aproveitamento da iluminação natural disponível pode proporcionar reduções significativas no consumo de energia elétrica gasto com iluminação artificial. No Brasil, algumas pesquisas já foram realizadas a fim de caracterizar edificações comerciais sob a ótica do consumo de energia elétrica, considerando o aproveitamento da iluminação natural.

De acordo com DOULOS *et al* (2008), os sistemas que controlam a iluminação através de operações de liga-desliga ou dimerização baseados na detecção de movimento, programação diária, controle manual, controle de demanda ou ação automática associada à detecção da iluminação natural disponível apresentam grandes potenciais na redução do consumo de energia com sistemas de iluminação artificial. Porém, apesar da popularização e da crescente adesão pública por este tipo de tecnologia nos últimos anos, o êxito de sua aplicação em edificações tem sido verificado em uma pequena porcentagem dos novos projetos, basicamente devido a dificuldade de quantificar a energia a ser economizada e consequentemente encontrar o tempo de retorno do investimento.

MOURA *et al* (2009) mostra um estudo de desempenho luminoso do projeto do novo centro de pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro (CENPES), onde foi desenvolvido um amplo trabalho de pesquisa e consultoria de desempenho térmico, luminoso e energético dos edifícios. O CENPES II se insere no contexto da arquitetura contemporânea brasileira como um projeto pioneiro no que tange à introdução das

preocupações de desempenho ambiental, com um processo de projeto interdisciplinar e rigoroso tecnicamente, para um empreendimento de mais de 100.000 m² de área construída, na Ilha do Fundão, às margens da Baía de Guanabara. No desenvolvimento deste projeto, houve a preocupação de integrar a iluminação natural de forma a complementar à iluminação artificial a fim de aumentar a eficiência energética global do conjunto de edificações.

Assim também, em um estudo realizado em 10 edifícios de escritórios em Florianópolis, FOSSATI e LAMBERTS (2010) mostram que o projeto arquitetônico da envoltória está fortemente relacionado ao consumo de energia destas edificações. Segundo este estudo, o percentual de abertura e a orientação das fachadas, as proteções solares e o fator solar dos vidros utilizados são variáveis importantes que tem grande influência no consumo de energia destas edificações.

O estudo também mostra que melhores níveis de eficiência energética podem ser alcançados quando são levados em consideração no projeto de uma edificação o percentual, a orientação e o sombreamento das aberturas aliados à escolha dos materiais e à adequação da edificação ao clima e ao entorno urbano. A melhoria da envoltória e a interação da edificação com o meio em que está inserida podem contribuir na redução do uso de iluminação artificial e de sistemas de refrigeração mecânica, responsáveis pela maior parte da energia consumida nos edifícios comerciais.

FONSECA *et al* (2010) apresenta uma avaliação do projeto do Centro de Informações do Cresesb, no Rio de Janeiro, cuja construção teve como objetivo principal difundir o uso de tecnologias energeticamente eficientes, notadamente a solar e a eólica, além de demonstrar como construir aproveitando os recursos naturais disponíveis. Foram adotadas diversas medidas como o uso de ventilação natural, sombreamento de fachada, controle do ganho térmico, cores claras nas fachadas; além de coberturas e materiais de construção que proporcionem baixa transmitância térmica de acordo com as recomendações de GIVONI (1992) e LIPPSMEIER (1980) para o clima tropical quente e úmido do Rio de Janeiro. O partido adotado para a iluminação

prevê a complementação da luz natural com a luz artificial obtida com conjuntos de iluminação constituídos de luminárias refletivas, lâmpadas de alta eficiência luminosa e reatores eletrônicos, todos atendendo à especificação de rendimento recomendada pelo PROCEL (2005). Somado a estas medidas, a previsão de instalação de painéis fotovoltaicos, o uso racional de água e a captação de água da chuva para reuso em irrigação agregam medidas que enfatizam que a sustentabilidade pode ser um diferenciador na qualidade final do produto arquitetônico. O projeto foi avaliado utilizando o método do RTQ-C tendo obtido nível A de eficiência energética.

Em um estudo realizado em Hong Kong, LI e LAM (2001) avaliaram o desempenho do sistema de iluminação de um edifício comercial utilizando reatores eletrônicos capazes de dimerizar a iluminação de acordo com a disponibilidade de iluminação natural e ocupação de suas salas comerciais. O edifício foi construído em 1989, possuindo 47 andares e 54.000 m² de área construída e tendo dois grupos de salas comerciais, sendo um voltado para o norte e outro para o sul. LI e LAM (2001) estimaram que o efeito de incorporar este sistema de controle ao sistema de iluminação ocasionou uma redução de 15.7 kWh/m² por ano, chegando a uma redução de 50% para as salas situadas no período externo da edificação, isso por estarem mais expostos à iluminação natural.

Em contra partida, um estudo realizado pelo LRC (2006) em uma edificação comercial de uma grande rede varejista em Nova York, teve como objetivo identificar os motivos pelos quais as lâmpadas instaladas em conjunto com um sistema fluorescente dimerizável apresentaram problemas prematuros de funcionamento. O sistema de iluminação possuía 5.400 lâmpadas fluorescentes T8 controladas por reatores dimerizáveis, operando de forma a complementar a iluminação natural fornecida por aberturas zenitais na cobertura da edificação. Este sistema foi instalado com o intuito de reduzir o consumo de energia elétrica, porém a vida média útil das lâmpadas utilizadas era de 30.000 horas, de acordo com o fabricante, tendo operado ininterruptamente por dois anos seguidos, o equivalente a 17.500 horas de funcionamento.



Figura 12 - Edificação comercial investigada pelo LRC (2006).

Ao final de dois anos de operação desta loja, 10% das suas luminárias apresentavam lâmpadas aleatoriamente distribuídas pelo salão com problemas na operação, apresentando sintomas como severo escurecimento nos cátodos, lâmpadas com coloração rosada e fornecendo baixíssimos níveis de iluminação entre outros.

A causa da maioria dos problemas apresentados na prática foi atribuída a problemas relativos à má instalação deste sistema (conexão da fiação, plugues mal conectados etc). O estudo conclui que os sistemas dimerizáveis, apesar de possuírem suas vantagens em termos de consumo de energia, são mais sensíveis aos problemas de instalação quando comparados aos sistemas fluorescentes convencionais, exigindo mão de obra qualificada e ciente destes problemas para a correta instalação dos equipamentos em questão. Muitos dos problemas encontrados não teriam se manifestado nos sistemas convencionais. (LRC, 2006)

3.3.2. Utilização das tecnologias mais eficientes

Diversas são as opções de lâmpadas e luminárias disponíveis para os projetistas de luminotécnica, cada uma com suas vantagens e desvantagens, consumo e aplicação que se encaixa melhor. A Figura 13 ilustra algumas destas lâmpadas e a sua relação entre o fluxo luminoso produzido e a potência elétrica consumida, relação

esta que é conhecida como eficiência energética da lâmpada e representada na unidade lumens por Watt (lm/W). Ainda, dentro de cada tipo de lâmpadas, existem vários modelos com potências menores e maiores. Desta forma, a Figura 13 mostra a faixa de eficiência energética que cada tipo de lâmpada apresenta, levando em consideração as diversas potências disponíveis para cada tipo de lâmpada.

A lâmpada fluorescente tubular T5 da Osram, por exemplo, apresenta uma faixa que varia de 65 a 125 lumens por watt, enquanto a fluorescente tubular T8 apresenta uma faixa que varia de 75 a 95. Desta forma, não é correto afirmar que as lâmpadas T5 são mais eficientes que as lâmpadas T8 de uma maneira geral, pois dentro desta faixa existem tipos de lâmpadas T8 que são mais eficientes que algumas lâmpadas T5.

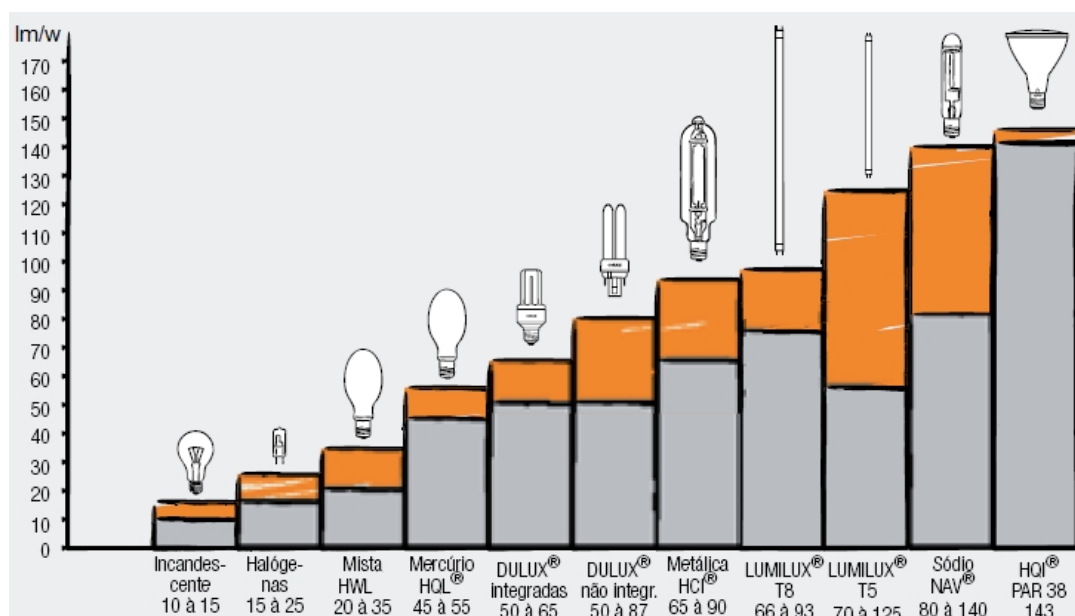


Figura 13 – Faixas dos valores de eficiência energética para diversos tipos de lâmpadas. (OSRAM,2009)

IWASHITA e SAIDEL (2005) ressaltam que nos projetos luminotécnicos em geral, não costumam ser considerados a eficiência do conjunto de equipamentos luminária-lâmpada-reator, sendo comum a adoção de lâmpadas eficientes com luminárias ou reatores pouco eficientes, aumentando o desperdício de energia nestes casos.

O LRC (1996) ressalta os diversos parâmetros que devem ser levados em consideração ao selecionar reatores eletrônicos que operam em alta frequência. Basicamente os parâmetros que mais influem na qualidade de operação são o método de partida, fator de potência, taxa de distorção harmônica, compatibilidade entre lâmpada e reator, além de corrente de partida. Sobre estes parâmetros e segundo o LRC (1996), pode-se afirmar que:

- *Método de partida:* Na prática, existem dois métodos de partida, a rápida e a instantânea. Na partida rápida, os reatores aquecem os eletrodos da lâmpada fluorescente antes de aplicar a tensão necessária para a partida, causando um pequeno atraso na partida e despendendo 3 a 4 W a mais de potência devido a este pré-aquecimento. Na partida instantânea, o reator não realiza este pré-aquecimento, aplicando uma alta tensão inicial e fazendo com que a partida da lâmpada seja mais rápida, porém reduzindo a sua vida útil. Não existe gasto de energia com o pré-aquecimento dos eletrodos, o que ocasiona uma redução no consumo de energia. Para aplicações em que existe uma frequência de liga e desliga nas lâmpadas, este tipo de partida pode ocasionar uma rápida redução na vida útil das lâmpadas, principalmente quando o seu acionamento está associado à foto células e sensores de movimento.
- *Fator de potência:* O fator de potência pode ser definido como a relação entre a potência ativa (W) e a potência aparente (VA). O fator de potência é reduzido quando existe uma defasagem entre a tensão e a corrente ou uma distorção na forma de onda senoidal da corrente. Baixos valores de fator de potência resultam em maiores perdas elétricas e investimentos desnecessários nas instalações elétricas de distribuição, podendo acarretar em multas pela companhia de fornecimento de energia elétrica. O Instituto Nacional Americano de padronização (ANSI) classifica como valores de alto fator de potência aqueles que se encontram acima de 0.90 para os reatores em geral. No Brasil, este parâmetro é definido de forma mais rigorosa pelo Inmetro, que classifica valores acima de 0.92 como alto fator de potência. Já o selo PROCEL de eficiência

energética impõe para reatores eletrônicos voltados a lâmpadas fluorescentes, o valor mínimo de 0.98 para o fator de potência.

- *Taxa de Distorção Harmônica Total (THD):* O THD é um parâmetro que, quando aplicado à corrente elétrica, avalia o quanto a forma desta é desviada de uma forma senoidal pura. Altos valores de THD reduzem o valor do fator de potência e podem causar interferência na operação de outros equipamentos eletrônicos, bem como o acionamento indevido dos equipamentos de proteção (fusíveis, disjuntores, reles etc.), interferência em equipamentos de comunicação que estejam próximos às instalações, aquecimento em motores, transformadores, capacitores e nos condutores de neutro. A ANSI exige que os reatores eletrônicos tenham uma THD para a corrente inferior a 32%. No Brasil, para a obtenção do selo PROCEL de eficiência energética, estes reatores devem apresentar THD igual ou inferior a 10%.
- *Compatibilidade entre lâmpada e reator:* Cada tipo de lâmpada fluorescente possui um tipo específico de reator que garantem uma característica ótima de operação e de sua vida útil. Incompatibilidades neste sentido, como por exemplo, o uso de reatores para lâmpadas T10 em lâmpadas T8, podem levar ao desperdício no consumo de energia bem como a redução da vida útil destas lâmpadas.
- *Corrente de partida (Inrush Current):* Corrente momentânea e de valor superior a corrente nominal que ocorre na partida de equipamentos como motores e reatores eletrônicos. A duração desta é curta, tipicamente inferior a três milissegundos. Porém, quando existem várias lâmpadas em um mesmo circuito em que este valor somado pode ultrapassar a casa dos 20 Amperes, esta corrente pode ocasionar a atuação indesejada de disjuntores, fusíveis e até mesmo sobrecarregar reles, contadores e os cabos de distribuição, quando não adequadamente dimensionados. É importante que estes valores sejam levados em consideração no dimensionamento dos equipamentos de proteção como disjuntores e fusíveis, bem como nos contadores, reles e também nos sensores de movimento, foto sensores e nos condutores dos circuitos de distribuição.

Alguns fabricantes incorporam no reator, mecanismos que limitam o valor desta corrente.

Segundo a IESNA (2000), o desempenho da luminária pode ser considerado uma combinação entre o desempenho fotométrico, mecânico e elétrico. O desempenho fotométrico está relacionado à eficiência e a eficácia com que a luminária direciona luz ao alvo desejado. É determinado pelas propriedades fotométricas da lâmpada e do projeto e qualidade dos componentes de controle da luz. O desempenho mecânico descreve o comportamento da luminária sob estresse, podendo incluir condições extremas de temperatura, e choques mecânicos. O desempenho elétrico descreve a eficiência com que a luminária e seus equipamentos auxiliares produzem a luz e o comportamento elétrico dos mesmos, como fator de potência, distorção harmônica e interferências eletromagnéticas de reatores. Desta forma, a eficiência da luminária é determinada também pela eficiência da lâmpada, do reator e sua interação com a lâmpada. (IWASHITA e SAIDEL, 2005)

O conceito de eficiência da luminária, também conhecido como rendimento da luminária, representa a razão do fluxo luminoso emitido por este aparelho de iluminação, em relação à soma total dos fluxos individuais das lâmpadas contidas na luminária, e encontra-se ilustrado na Figura 14.

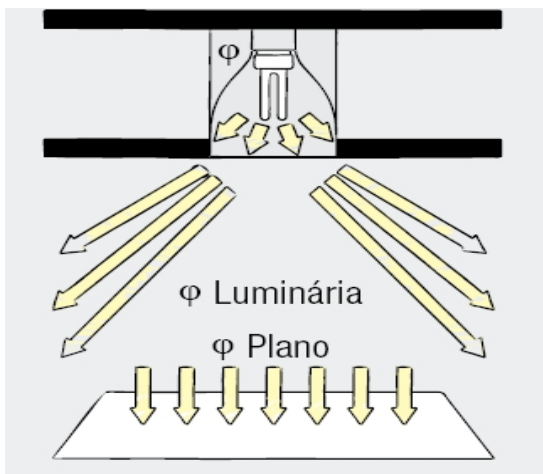


Figura 14 – Conceito de eficiência luminosa da luminária. (OSRAM, 2009)

Desta forma, uma luminária para uma lâmpada fluorescente tubular que possui um refletor, consegue direcionar uma quantidade maior de iluminação para o plano de trabalho quando considerado somente uma lâmpada sem luminária, aumentando a eficiência do sistema de iluminação. Existem luminárias que apresentam tipos diferentes de refletores e aletas, conforme ilustrado na Figura 15.

Pode-se encontrar facilmente no mercado luminárias com refletores brancos e metálicos, que direcionam com maior eficiência o fluxo luminoso produzido pela lâmpada, e também com aletas metálicas ou brancas, que causam uma redução no ofuscamento para os usuários da instalação. Estes parâmetros das luminárias influem diretamente na potência instalada necessária do sistema de iluminação para garantir um determinado nível de luminosidade.

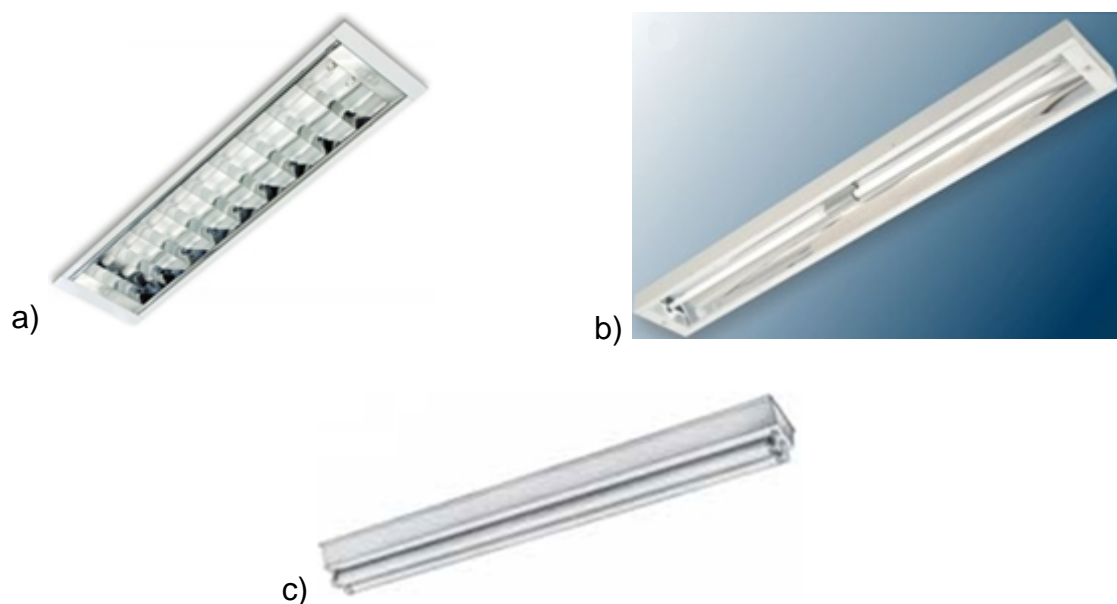


Figura 15 – Luminárias para lâmpadas fluorescentes: (a) com refletor metálico e aletas; (b) com refletor metálico sem aletas; (c) com refletor branco sem aletas.

GHISI e LAMBERTS (1998) levantam que através da correta seleção do material e da forma apropriada das luminárias, o uso da luz pode ser maximizado, ocasionando uma redução na carga total de iluminação. Neste grupo de luminárias apresentado, as luminárias que possuem refletor em alumínio sem aletas são as que apresentam a maior eficiência, sendo que a substituição desta por uma luminária com refletor branco e sem aletas, mantendo-se o mesmo nível de iluminação, ocasionaria um aumento em até 30% da potência instalada com iluminação. A falta de limpeza das luminárias de forma adequada é outro fator que pode levar a uma redução no fluxo luminoso das luminárias em 25 a 50%, dependendo da aplicação e do equipamento utilizado.

GHISI (1997) ressalta que para se determinar a eficiência luminosa de um sistema de iluminação, bem como o seu potencial de redução através da utilização de tecnologias mais eficientes, é necessária a determinação das atuais condições de iluminância dos ambientes, bem como a potência instalada por unidade de área e seu estado de conservação e manutenção.

De acordo com um estudo realizado no Hospital de Clínicas da Unicamp, JANNUZZI *et al.* (2006) concluíram que, após a substituição do sistema de iluminação antigo constituído por lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W e reatores eletromagnéticos, instalados em luminárias com baixa capacidade de reflexão de luz, por um sistema constituído por lâmpadas fluorescentes trifósforo de 32 W com reator eletrônico de alto fator de potência e luminárias com elevado grau de reflexão de luz, o custo operacional com energia elétrica foi reduzido a um patamar de 61% com um tempo de retorno de 18 meses, acima dos valores inicialmente propostos de 34% a um tempo de retorno de 39 meses.

Benefícios adicionais como a redução na quantidade de lâmpadas e um maior nível de iluminância no ambiente, causaram uma satisfação em 84% dos usuários, que antes eram apenas 45%. Também foram observados aumentos nos parâmetros de qualidade de energia elétrica, tendo reduções nas taxas de distorção harmônica e aumento no fator de potência das instalações para os padrões aceitáveis aos normatizados no Brasil, fatores que comprovam a utilidade e justificam o uso dos reatores de alto fator de potência nos sistemas de iluminação, trazendo também grandes benefícios para a instalação elétrica do empreendimento. (JANNUZZI *et al.*, 2006)

Estudos realizados pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) mostraram que, no campus da UFSC, os sistemas de iluminação artificial tinham, em 2005, uma participação de 63% no consumo de energia elétrica. ORDENES *et al.* (2005) desenvolveram um estudo para avaliar as possíveis oportunidades de melhoria no sistema de iluminação artificial de um dos principais prédios da UFSC, a Biblioteca Central (BC). Foram levantadas informações sobre os projetos arquitetônicos

e de instalações elétricas, medidas do consumo de energia total da BC e também medições da distribuição de iluminação. Durante as medições, a demanda média no período de funcionamento analisado para a BC foi de 250 kW, sendo que a participação da iluminação foi estimada em 63% deste valor.

No projeto luminotécnico proposto, houve a redistribuição da posição de todas as luminárias em cada ambiente, a divisão dos circuitos de maneira que as fileiras de luminárias possam ser acionadas paralelamente às janelas, e as fileiras perimetrais sejam acionadas independentes das fileiras internas, possibilitando a economia de energia através do melhor aproveitamento da luz natural com baixo custo de instalação. Como resultado, obteve-se um diagnóstico das condições do sistema de iluminação e uma proposta para um novo projeto luminotécnico, visando garantir boas condições de conforto visual aos usuários e oferecendo uma redução de 50% na potência total instalada a um tempo de retorno do investimento estimado em um ano. (ORDENES *et al*, 2005)

3.3.3. Sistema de automação e gerenciamento de iluminação

Sistemas que possuem inteligência e capacidade de acionar cargas em um edifício de acordo com uma programação ou interação com sensores para detectar a movimentação de pessoas e presença de iluminação natural, possibilitando o uso mais eficiente de energia elétrica não são grandes novidades para os países desenvolvidos. Sistemas como estes já estão presentes nestes países há quase duas décadas, como mostra o LCR (1994).

SOUZA (2003) propôs uma metodologia para estimar o Potencial de Aproveitamento da Luz Natural (PALN) através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial e verificou que as estratégias de controle automático podem reduzir significativamente o consumo de energia elétrica gasta em iluminação, chegando a atingir uma redução de 87% em ambientes com janelas opostas.

ATIF e GALASIU (2003) desenvolveram um estudo de casos avaliando possíveis reduções do consumo de energia com iluminação artificial, utilizando sistemas de controle de forma complementar à iluminação natural disponível em átrios, onde foi encontrado a possibilidade de reduzir em 73% o total de energia consumido no período de um ano com este tipo de uso.

ROISIN *et al.* (2008) apresentam um estudo comparativo entre três diferentes sistemas de controle para iluminação instalados em uma sala comercial com área de 20 m², levando em consideração o consumo dos equipamentos, a disponibilidade de iluminação natural ao longo do ano, a orientação da sala e a sua localização no continente Europeu.

Foram realizadas medições de consumo e simulações computacionais considerando sistemas capazes de: realizar a dimerização individual das luminárias e proporcional à iluminação natural disponível; desligar a iluminação quando um sensor de movimento detectar que a sala está desocupada; dimerizar a iluminação à um nível pré-definido quando um sensor de movimento detectar que a sala está desocupada; realizar a combinação das funcionalidades citadas anteriormente. O estudo mostra que o potencial de redução no consumo de energia com iluminação artificial é alto quando o sistema realiza o controle da iluminação proporcional à iluminação natural disponível, e depende pouco da orientação e localização geográfica da sala. O potencial de redução variou entre 45% e 61% no consumo anual de energia com iluminação, para o pior e melhor caso respectivamente. A adição do sensor de ocupação oferece ganhos complementares de até 4%.

O LRC (1994) apresenta um estudo de caso feito no supermercado A&P localizado em Connecticut, nos Estados Unidos, construído em 1991. Incentivado pela concessionária de energia local (Connecticut Light and Power Company), como parte de seu programa de eficiência energética, este supermercado investiu em um sistema de iluminação bem diferente do convencional. Tradicionalmente, o sistema de iluminação artificial em supermercados é constituído por diversas fileiras de luminárias fluorescentes penduradas em perfilados, eletrocalhas ou fixado em forro,

Figura 17 ilustra a seção de hortifrúti do supermercado A&P, onde foram utilizadas luminárias pendentes com lâmpadas fluorescentes (3000K, 80 CRI), concentrando a iluminação nos produtos, e não no teto e piso.



Figura 17 – Ilustração do conceito de iluminação utilizado na área de hortifrúti do supermercado A&P.
(LRC,1994)

A Figura 18 ilustra a estratégia utilizada nos corredores do supermercado. Para a iluminação dos produtos, foram utilizadas fileiras de luminárias com duas lâmpadas fluorescentes localizadas na parte interna das prateleiras. Adicionalmente, fileiras de luminárias com duas lâmpadas fluorescentes, montadas alternadamente na parte superior a cada dois corredores, fornecem iluminação indireta ao supermercado de forma a causar mais conforto aos compradores.



Figura 18 – Ilustração do conceito de iluminação utilizado na área das prateleiras do supermercado A&P. (LRC,1994)

Durante o período noturno, quando os clientes estão acostumados com menores níveis de iluminação, parte das luminárias localizadas no topo dos corredores é desligada, ocasionando a redução no consumo de energia.

De acordo com o LRC (1994) este supermercado possui um sistema automatizado de gerenciamento de energia (EMS - Energy Management System) que foi projetado para acionar o sistema de iluminação de acordo com uma programação diária. A Figura 19 ilustra a variação na densidade de potência em W/m^2 consumida pelo sistema de iluminação ao longo do dia. Durante o período diurno, este valor permanece constante e igual a 21.4 W/m^2 , reduzindo para 18.3 W/m^2 durante o final da tarde, e caindo para 7.5 W/m^2 no período noturno, quando o supermercado encontra-se fechado. Com isso, o nível de densidade de potência instalada se manteve inferior aos 29.0 W/m^2 recomendados pelos códigos de construção regional na época.

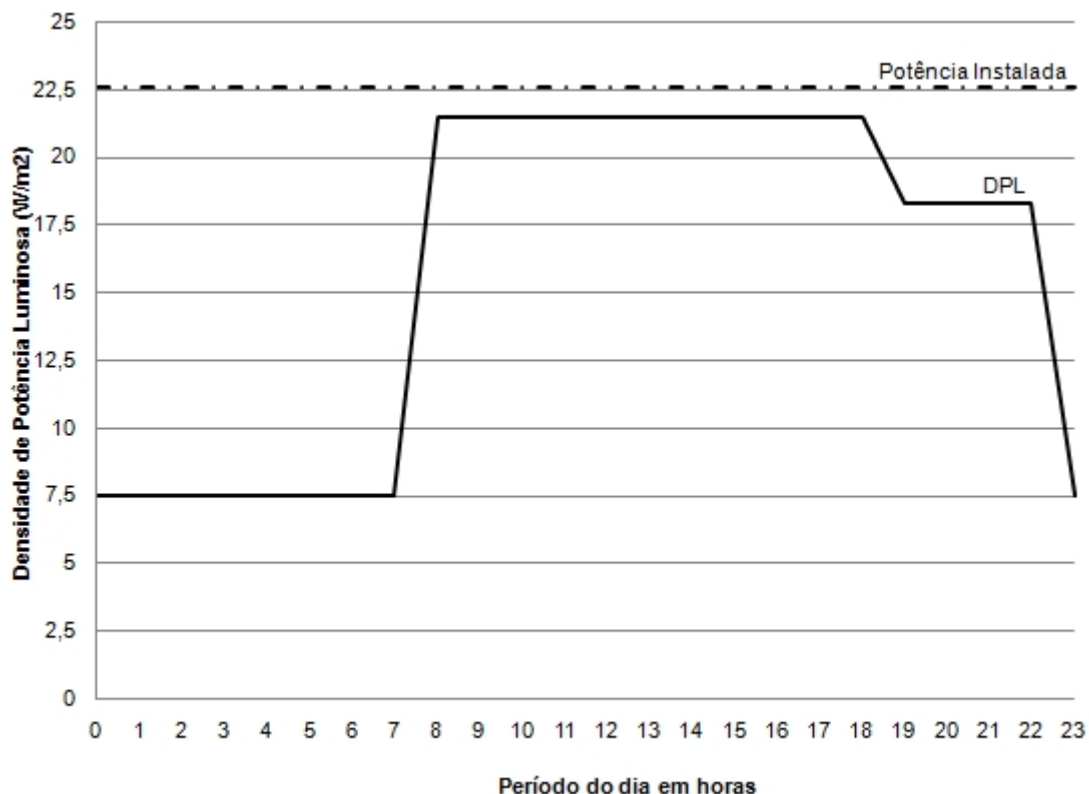


Figura 19 – Perfil de carga típico do sistema de iluminação artificial do supermercado A&P.
(Adaptado de LRC, 1994)

De acordo com este estudo, o LRC (1994) estima que mais de 100 kWh por dia são economizados devido a esta característica de projeto. Desta forma, os investimentos adicionais que foram feitos nas lâmpadas, luminárias, reatores e no próprio sistema de EMS se pagaram. Além dos benefícios em termos de consumo energético, questionários avaliaram a satisfação dos clientes e funcionários. Resultados positivos também foram obtidos. Este é um excelente exemplo de como o conceito de eficiência energética em sistemas de iluminação pode ser aplicado a supermercados e hipermercados.

4. Metodologia

Os hipermercados avaliados pertencem ao grupo Pão de Açúcar e estão localizados na cidade de Campo Grande – MS.

Como principal característica que diferencia os estudos de caso, o hipermercado A não possui iluminação natural, enquanto o hipermercado B possui. Foram levantadas diversas características que serão descritas em detalhes neste capítulo. Com o intuito de simplificar a forma com que se faz referência a estes hipermercados, será adotada a seguinte nomenclatura:

Tabela 11 – Nomenclatura utilizada para referenciar os hipermercados

Hipermercado	Localização	Característica da Iluminação
A	Rua Maracaju	Somente Artificial
B	Rua Joaquim Murtinho	Artificial e Natural

Como metodologia para avaliar o desempenho e a eficiência energética nos sistemas de iluminação natural e artificial dos hipermercados analisados, foram realizados levantamentos de informações de campo, medições do consumo de energia elétrica nos circuitos dos sistemas de iluminação artificial avaliados, medições da distribuição interna de iluminâncias em três períodos (manhã, tarde e noite) de cada dia analisado, e utilizando como base os dados obtidos nas etapas previamente descritas. Os sistemas de iluminação artificial foram avaliados de acordo com os critérios estabelecidos pelo regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) do PROCEL Edifica para os sistemas de iluminação.

A forma detalhada com que estes procedimentos foram empregados para estudar e comparar o desempenho e a eficiência energética destes sistemas de iluminação em ambos os hipermercados estão descritos neste capítulo.

4.1. Hipermercado A

Localizado no centro da cidade de Campo Grande, na Rua Maracaju nº 1441, foi o primeiro hipermercado construído pelo grupo Pão de Açúcar no Brasil, em 1989. Esta loja possui dois pavimentos e conta com cinco mil metros quadrados de área, sendo que não foram previstos em seus pavimentos a utilização de elementos arquitetônicos que explorassem a iluminação natural existente no local, dependendo exclusivamente do sistema de iluminação artificial durante suas 24 horas diárias de operação. Uma vista aérea deste empreendimento pode ser visualizada na Figura 20.



Figura 20 – Vista aérea do hipermercado A.

Em 2008, o grupo realizou uma grande reforma nesta unidade onde várias mudanças foram feitas em seus ambientes, equipamentos, melhorias em suas instalações elétricas e também no sistema de iluminação artificial, que foi inteiramente modificado e atualizado com lâmpadas, luminárias e reatores de alta eficiência.

Na Figura 21 pode-se visualizar o interior desta loja que possui um fechamento com forro, não existindo o aproveitamento de iluminação natural em nenhum dos pavimentos nesta unidade.

Neste trabalho foi analisado o sistema de iluminação artificial localizado no salão de vendas do pavimento inferior da edificação. A Figura 22 ilustra a planta baixa do pavimento analisado, que pode ser encontrada em maiores detalhes no **Apêndice B** em formato A3. Tanto na Figura 22 quanto no **Apêndice B**, pode-se visualizar a disposição das fileiras de luminárias, representadas por linhas azuis, bem como as semi-fileiras adicionais na área de hortifrúti.



Figura 21 – Fotos no interior do primeiro (esquerda) e segundo (direita) pavimento da loja.

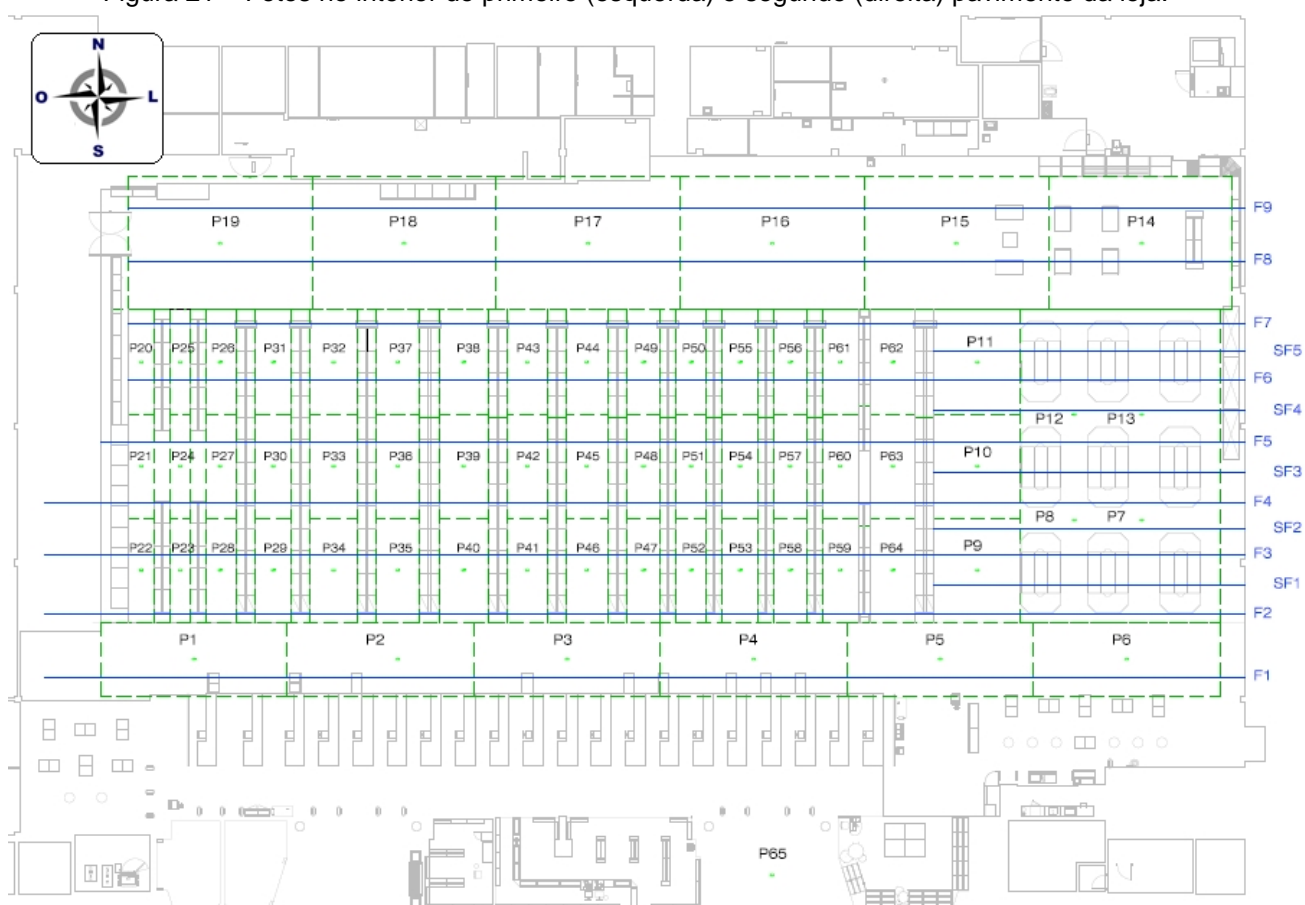


Figura 22 – Planta Baixa do hipermercado A.

O primeiro pavimento deste hipermercado foi subdividido em 64 regiões, que estão limitadas por retângulos verdes pontilhados, sendo cada ponto no centro destas regiões associado a uma medida de iluminância, totalizando 64 medidas por período analisado. O sistema de iluminação artificial no salão principal de vendas deste hipermercado é constituído por nove fileiras de luminárias fixadas no forro do salão a

uma altura de 4.42 metros, dispostas no sentido leste-oeste, sendo que na área de hortifrúti existem cinco semi-fileiras adicionais. O número de luminárias por fileira não é constante. O levantamento da quantidade de luminárias por fileiras encontra-se na Tabela 12, que contém a quantidade de fileiras, luminárias, lâmpadas, reatores, a potência do conjunto luminária-lâmpada-reator, e também a potência total estimada para este sistema de acordo com os levantamentos de campo realizados.

Tabela 12 - Levantamento do sistema de iluminação artificial do hipermercado A.

Fileira	Luminárias	Semi-fileiras	Luminárias
F1	58	SF1	10
F2	58	SF2	10
F3	58	SF3	10
F4	58	SF4	10
F5	56	SF5	10
F6	54		
F7	54		
F8	54		
F9	54		
Quantidade total de luminárias		554	Unidades
Quantidade total de reatores		277	Unidades
Quantidade total de lâmpadas		554	Unidades
Potência de 1 reator e 2 lâmpadas		110	W
Potência instalada do sistema de iluminação		30,47	kW

Segundo a equipe de manutenção deste hipermercado, estas luminárias foram feitas especificamente para este hipermercado e não são modelos comercialmente disponíveis. Estas luminárias podem ser vistas na Figura 23 e são caracterizadas por possuírem refletor em alumínio e não possuírem aletas. Esta configuração faz com que exista um maior direcionamento do fluxo luminoso para a área da tarefa, que neste caso é o salão de vendas, aumentando a eficiência do conjunto lâmpada-luminária-reator.



Figura 23 – Luminárias utilizadas no salão principal de vendas do hipermercado A.

De acordo com dados obtidos nos catálogos dos fabricantes, cada luminária possui uma lâmpada OSRAM LUMILUX T5 HO FQ com potência de 54 W, temperatura de cor de 4.000 K, fluxo luminoso de 4.450 lumens e índice de reprodução de cor de 80-89. Para cada duas lâmpadas utiliza-se um reator EL258A26 da PHILIPS, ambos ilustrados na Figura 24. Este conjunto, formado por um reator e duas lâmpadas, possui uma potência total de 110 W, uma corrente de 0,49 A durante operação, um fator de potência de 0,99 e uma taxa de distorção harmônica inferior a 5%. Desta forma, com este conjunto, consegue-se gerar um fluxo luminoso de 8.900 lumens com 110 W, apresentando uma relação de 80,9 lumens/watt.



Figura 24 – Lâmpada e Reator utilizados no salão principal de vendas do hipermercado A.

4.2. Hipermercado B

Inaugurada em 2009, a segunda unidade do hipermercado Extra, do grupo Pão de Açúcar, em Campo Grande, está localizada na Rua Joaquim Murтинho, possui apenas 1 pavimento e uma área de 3 mil metros quadrados. A Figura 25 mostra a vista aérea deste hipermercado.



Figura 25 – Vista aérea do hipermercado B.

Por ser uma construção mais recente, foram previstos em seu projeto elementos arquitetônicos que oferecem um maior aproveitamento da iluminação natural, conforme pode ser visto na Figura 26.



Figura 26 – Fotos do interior do hipermercado B.

A cobertura deste hipermercado foi feita utilizando o sistema Roll-On, que é um sistema integrado de estrutura e cobertura metálica, o qual pode admitir a iluminação natural com a adição de módulos para abertura zenital tanto com a utilização de fibra de vidro quanto policarbonato. Este sistema encontra-se ilustrado na Figura 27.



Figura 27 - Sistema Roll-On com abertura zenital.
(Adaptado do Manual técnico da Marko Sistemas de Coberturas Metálicas)

Neste trabalho, analisou-se o sistema de iluminação artificial e natural do salão de vendas principal. A Figura 28 ilustra a planta baixa do hipermercado B, que pode ser encontrada em maiores detalhes no **Apêndice B** no formato A3. Tanto na Figura 28 quanto no **Apêndice B**, pode-se visualizar a disposição das fileiras de luminárias, representadas por linhas azuis, bem como as semi-fileiras adicionais na área de hortifrúti. O hipermercado foi subdividido em 167 regiões que estão limitadas por retângulos verdes pontilhados, sendo cada ponto no interior destas regiões associado a uma medida de iluminância, totalizando 167 medidas para cada período analisado. Os retângulos vermelhos representam as doze aberturas zenitais existentes no hipermercado, orientadas no sentido Norte-Sul, possibilitando a entrada de uma grande quantidade de iluminação natural.

Inicialmente, este hipermercado contava com um sistema de iluminação totalmente constituído por luminárias LED. De acordo com a equipe de manutenção, o modelo de luminárias LED utilizado apresentou uma redução considerável no nível de iluminação de forma prematura, e devido a este fato todas as luminárias foram trocadas por luminárias fluorescentes convencionais.

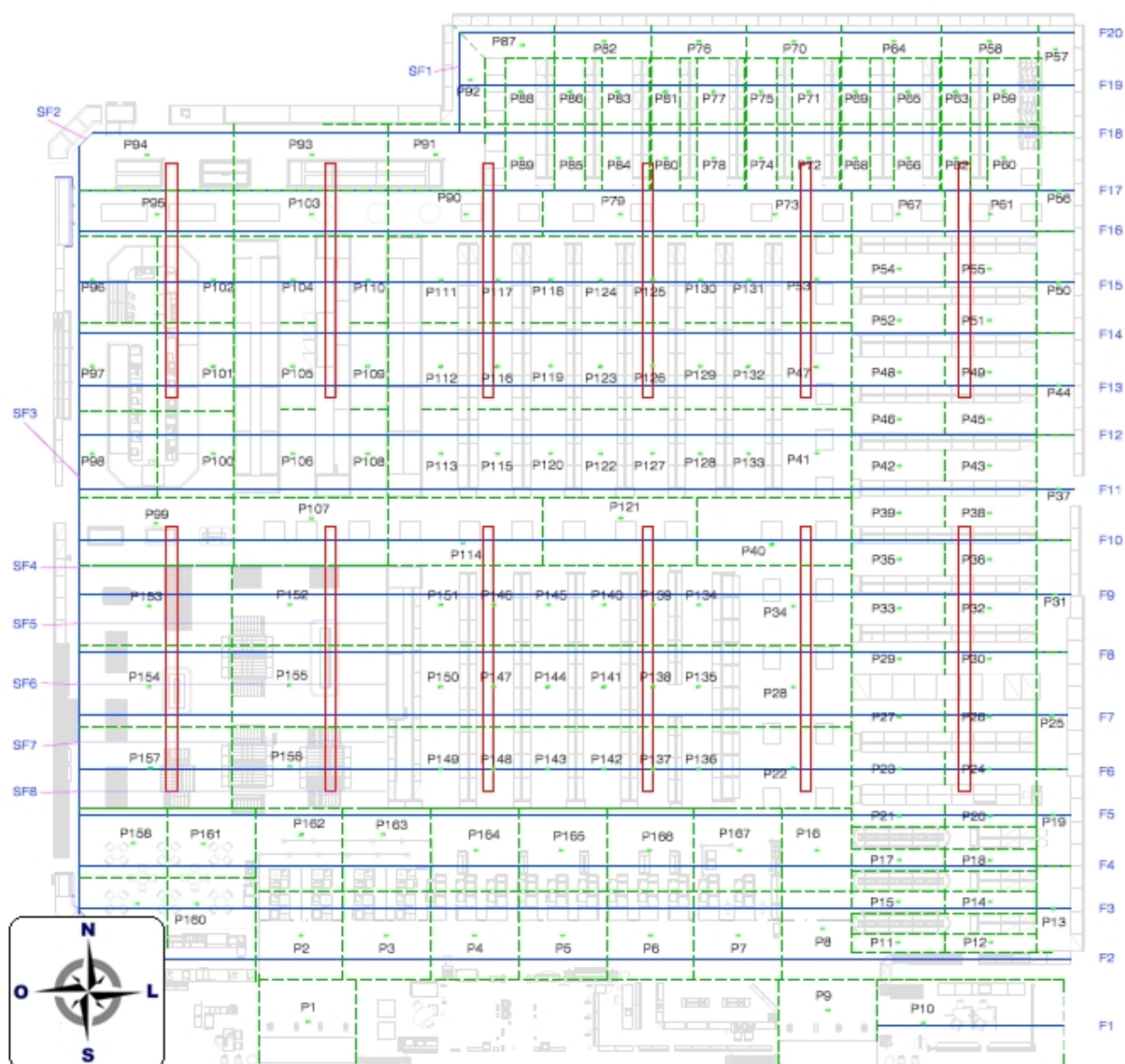


Figura 28 - Planta Baixa do hipermercado B.

O sistema de iluminação artificial atual deste hipermercado é constituído por vinte fileiras de luminárias no sentido leste – oeste distribuídas uniformemente ao longo do hipermercado, cinco semi-fileiras adicionais na região do hortifrúti, e mais três semi-fileiras no sentido norte-sul, sendo fixadas em perfilados a uma altura de 4 metros do piso. A quantidade de luminárias por fileira também não é constante. O levantamento da quantidade de luminárias em cada uma das fileiras encontra-se na Tabela 13, incluindo a quantidade de luminárias, lâmpadas, reatores, a potência do conjunto luminária-

lâmpada-reator e também a potência total deste sistema, que foram obtidas com base nos levantamentos realizados.

Tabela 13- Levantamento do sistema de iluminação artificial do hipermercado B.

Fileiras orientadas no sentido Leste - Oeste			
Fileira	Luminárias	Fileira	Luminárias
F1	6	F11	46
F2	44	F12	46
F3	46	F13	46
F4	46	F14	46
F5	46	F15	46
F6	46	F16	46
F7	46	F17	46
F8	46	F18	44
F9	46	F19	28
F10	46	F20	28
Semi-Fileira orientadas no sentido Leste-Oeste (Hortifrúti)			
SF4	12	SF7	12
SF5	12	SF8	12
SF6	12		
Semi-Fileiras de Luminárias no Sentido Norte-Sul			
SF1	4	SF3	34
SF2	2		
Quantidade total de luminárias		940	Unidades
Quantidade total de reatores		940	Unidades
Quantidade total de lâmpadas		1880	Unidades
Potência de 1 reator + 2 lâmpadas		62	W
Potência total		58,28	kW

As luminárias deste hipermercado podem ser vistas na Figura 29, sendo caracterizadas por possuírem elemento reflexivo branco e sem aletas. Esta é uma luminária simples e que oferece baixa eficiência luminosa, pois o refletor branco não reflete a iluminação gerada pelas lâmpadas para o plano de trabalho de uma maneira tão eficiente quando um refletor metálico de alumínio.



Figura 29 – Luminárias utilizadas no salão principal de vendas do hipermercado B.

De acordo com dados obtidos no catálogo do fabricante, cada luminária possui duas lâmpadas fluorescentes tubulares LUMILUX FO T8 e um reator FLUORTRONIC AFP, que estão ilustrados na Figura 30, ambos da OSRAM. De acordo com o catálogo do fabricante, cada lâmpada possui potência de 32 W, fluxo luminoso de 2.700 lumens, temperatura de cor de 4.000 K e um IRC de 80-89. Quanto ao conjunto formado por estas duas lâmpadas e um reator, operando em 220 V, consome uma corrente de 0.3 A, uma potência de 62 W, com fator de potência de 0.96 e taxa de distorção harmônica inferior a 20%. Desta forma, este conjunto produz um fluxo luminoso total de 5.400 lumens com um consumo de 62 W, apresentando uma relação de 87,1 lumens/watt.



Figura 30 – Lâmpada e Reator utilizados no salão principal de vendas do hipermercado B.

4.3. Levantamento de informações de campo

Foram realizadas diversas visitas em ambos os hipermercados, em que se obtiveram as plantas arquitetônicas e de instalações elétricas que não estavam exatamente atualizadas com as situações encontradas em campo. Desta forma, foram levantadas as características das instalações elétricas, os circuitos, os quadros de distribuição, os tipos de lâmpadas, luminárias e reatores utilizados, a disposição e demais medidas destes equipamentos de forma a desenvolver uma metodologia sistemática para realizar as medidas do consumo de energia elétrica e também da distribuição de iluminâncias no interior destes hipermercados. As informações obtidas nesta etapa encontram-se listadas no próximo capítulo, no qual cada estudo de caso será descrito individualmente e em maiores detalhes.

4.4. Equipamentos utilizados

4.4.1. Luxímetro

Para fazer o levantamento da distribuição de iluminação nos ambientes analisados, utilizou-se o luxímetro MLM-1010 da MINIPA (Figura 31), do Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (LADE-UFMS).



Figura 31 – Luxímetro MLM-1010 da MINIPA.

Como características técnicas deste luxímetro pode-se ressaltar: taxa de duas medidas por segundo; três faixas de medição, 2K , 20K e 50K lux; resolução de 1, 10 e 100 lux para as respectivas faixas de medição; precisão de + ou - 4% sobre o valor da leitura + 0,5% sobre o fundo de escala que se está utilizando, para valores inferiores a 10K lux (é o caso de todas as medidas realizadas); foto sensor constituído de fotodiodo de silício.

4.4.2. Analisador de Energia Embrasul RE 6000

O analisador de energia Embrasul RE 6000 (Figura 32) é um equipamento utilizado para realizar medições, estudos e diagnósticos de sistemas elétricos. O RE 6000 possui uma boa confiabilidade e precisão devido ao uso da tecnologia de processamento em DSP (Digital Signal Processor) com o uso de conversores A/D (Analógico/Digital) de alta resolução.

Este equipamento possui sensores de corrente flexíveis, que são instalados de forma a envolver o condutor o qual se deseja medir a corrente que por ele passa, e conectores para teste com garras jacaré, que são instalados no neutro e nas três fases cujas tensões desejam-se medir. A Figura 32 também ilustra a forma com que este equipamento é conectado às linhas elétricas.



Figura 32 – Analisador de Energia Embrasul RE 6000 e sua conexão à rede.

Desta forma, pode-se medir valores RMS de tensão (V) e de corrente (A) em até três fases, os valores das potências ativa (W), reativa (VAR) e aparente (VA), Fator de Potência, Distorção Harmônica entre outros parâmetros. Como especificações técnicas, podem ser citados: classe de exatidão de tensão de 0,2% na faixa de 100 a 500 V, que é a faixa onde se encontram as medidas realizadas; classe de exatidão para corrente de 0,2% entre 5 a 100% da escala de corrente; amostragem realizada por A/D de 16 bits, sendo 133 amostras por ciclo (período de amostragem de 8 kHz), simultaneamente em todos os canais.

4.4.3. Analisador de Energia Embrasul RE 2000

O analisador de energia Embrasul RE 2000 (Figura 33) é o antecessor do RE6000. Ele possui as funcionalidades semelhantes ao RE6000 com limitações em alguns tipos de medidas, como por exemplo, a medição de componentes harmônicas, que este não realiza. Ele possui três conectores em alicate que são instalados de forma a envolver o condutor o qual se deseja medir a corrente que por ele passa, e quatro conectores para teste com garras jacaré, que são instalados no neutro e nas três fases cujas tensões desejam-se medir, de forma semelhante ao RE6000. Desta forma, pode-se medir valores de tensão (V) e corrente (A) RMS em até três fases, os valores das potências ativa (W), reativa (VAR) e aparente (VA) .



Figura 33 – Analisador de Energia Embrasul RE 2000.

Para os estudos realizados neste trabalho, o parâmetro de maior importância é a potência ativa (kW), que representa o consumo instantâneo dos circuitos de iluminação e foi utilizado para levantar a curva de carga diária destes sistemas.

4.5. Medições de distribuição interna de iluminâncias

Para estudar a distribuição da iluminação no interior dos hipermercados optou-se por realizar medições das iluminâncias em vários pontos pré-definidos no interior de cada hipermercado. Inicialmente analisaram-se as plantas arquitetônicas fornecidas e criou-se uma malha de pontos de medições para cada hipermercado, conforme orientado pelo item 6.1.4.2 da NBR15215-4. Iluminação Natural - Parte 4. Observou-se para ambos os hipermercados a necessidade de obter um número maior do que 36 pontos, que é o máximo recomendado pela NBR15215-4, devido à área do salão e à disposição interna das prateleiras. Desta forma, não foi necessário calcular o índice do ambiente, conforme indica o item 6.1.4.1 desta norma.

No hipermercado A, analisou-se o salão principal de vendas do primeiro piso, o qual foi subdividido em 64 regiões distribuídas de acordo com a geometria do ambiente e das disposições das prateleiras e demais objetos no interior da loja. No hipermercado B, também foi analisado o salão principal de vendas, o qual foi dividido em 167 regiões, devido à sua maior área em relação ao hipermercado A, que também foram distribuídos respeitando a geometria do ambiente. A subdivisão das regiões e os pontos onde cada medida foi realizada estão ilustrados de forma detalhada no **Apêndice B**, com plantas

de ambos os hipermercados no formato A3. Nestas plantas pode-se visualizar cada ponto da medição, a forma com que foram subdivididas as regiões para se obter a malha de pontos, a localização das fileiras de luminárias e também a localização das aberturas de iluminação zenital.

Cada região possui um ponto central onde foram feitas as medições. Toda medição apresentada consiste em medir, com um luxímetro, o nível de iluminância nos pontos centrais de cada uma das regiões. Conforme orienta o item 6.1.3 da NBR15215-4, todas as medidas foram realizadas a 75 cm de altura do piso. Para padronizar a medida, utilizou-se um carrinho do próprio hipermercado que fornecia exatamente esta altura, ilustrado na Figura 34. Ao final de cada medição, obteve-se uma tabela com o nível de iluminância para as regiões em estudo, fornecendo a distribuição interna da iluminação.



Figura 34 – Equipamentos utilizados para medição de iluminâncias.

Foram realizados testes para verificar se a estrutura lateral do carrinho utilizado para fazer as medições poderia causar alguma interferência nas medidas, e constatou-se não haver interferências significativas. Mesmo se houvesse, poderia ser considerado como uma superfície de trabalho, pois o usuário do hipermercado está constantemente observando os produtos em seu interior. Sendo assim, estas medidas representam uma situação real de como a iluminação chega ao plano de trabalho do usuário deste hipermercado.

Em virtude das frequentes variações das condições do céu ao longo do dia e do ano e para melhorar a precisão dos níveis de iluminação medidos, a NBR15215-4

orienta a realização destas medidas em diferentes horários do dia e também em distintas épocas do ano. Uma recomendação desta mesma norma é que as medidas sejam realizadas em épocas em que as condições de céu sejam mais representativas, que ocorrem no período próximo aos solstícios de verão (22 de dezembro) e ao solstício de inverno (22 de junho). Com base nestas recomendações, optou-se por realizar duas etapas de medições: a primeira em julho de 2010, próxima ao solstício de inverno, e a segunda em janeiro de 2011, próxima ao solstício de verão.

Cada etapa de medição teve duração de três dias em cada hipermercado, onde foram monitorados os consumos de energia elétrica nos circuitos de iluminação do salão principal de vendas, e em paralelo a estas medidas também foram realizadas cinco medidas internas da distribuição de iluminâncias entre os períodos do dia (manhã, tarde e noite). O hipermercado A opera 24 horas por dia e possui uma rotina que cabe à equipe de manutenção do hipermercado desligar parte do sistema de iluminação artificial do salão principal de vendas em torno das 22h30. Com isso, durante o período após este acionamento até o início da manhã (por volta das 8h00), o sistema de iluminação fica parcialmente desligado e isto afeta tanto o nível de iluminação quanto o nível de consumo de energia do salão principal de vendas neste período. Esta característica não é verificada no hipermercado B, que funciona das 8h00 às 23h00. Devido a esta característica, optou-se por realizar no hipermercado A uma medida durante a madrugada, por volta da meia-noite para verificar a distribuição interna de iluminâncias neste período.

Outro detalhe importante é que o hipermercado A, por não possuir sistema de iluminação natural, deve apresentar resultados semelhantes entre as medidas, mesmo que elas tenham sido realizadas em diferentes períodos do dia, com exceção do período da madrugada, em que parte do sistema artificial é intencionalmente desligado. Já o hipermercado B, por possuir sistema de iluminação natural, deve apresentar grandes diferenças entre as medidas devido às inconstâncias do clima, mesmo que estas tenham sido feitas no mesmo período de dias diferentes.

Como os hipermercados foram divididos em regiões cujas áreas não são iguais, o item 7.2 da NBR15215-4 orienta a realização de uma média ponderada dos valores de iluminância obtidos para cada região e sua respectiva área, para se obter a iluminância média no ambiente, segundo a equação 4.1.

$$E = \frac{E_1.A_1 + E_2.A_2 + \dots + E_n.A_n}{A_{total}} \quad (4.1)$$

Onde **E** representa o valor da iluminância média, **E1** é o valor da iluminância medida no ponto médio da região 1, **A1** é a área da região 1, **En** é o valor da iluminância medida no último ponto médio do ambiente, **An** é a área da última região do ambiente e **A total** é a área total do ambiente, obtida a partir da somatória total das áreas **A1** à **An**.

Para estudar a variação da iluminação natural no ambiente, o item 7.3 da NBR15215-4 recomenda a utilização das curvas isoiluminância ou isolux, que são traçadas pelos pontos com igual iluminância. Estas curvas representam a variação de iluminância no ambiente e indicam as partes onde é necessário o uso de iluminação artificial para suprir as necessidades mínimas.

Para avaliar a contribuição da iluminação natural no hipermercado B, foi feita uma estimativa utilizando os níveis de iluminação obtidos nas medições realizadas durante o dia e durante a noite.

Neste trabalho, os valores da iluminância médio foram calculados utilizando o software EXCEL e a partir dos valores obtidos neste software, foram traçadas as curvas de isolux utilizando-se o software SURFER 3D.

A primeira etapa das medições foi realizada no período de 26 de julho ao dia 01 de agosto de 2010, próximo ao solstício de inverno. Foram realizadas cinco medidas de iluminação em cada hipermercado. A segunda etapa das medições foi realizada do dia 25 de janeiro ao dia 03 de fevereiro de 2011, próximo ao solstício de verão. Foram realizadas cinco medidas de iluminação em cada hipermercado.

4.6. Medições do consumo de energia elétrica

Para realizar a medição do consumo de energia elétrica e levantar a curva de carga diária do consumo de energia nos circuitos de iluminação artificial analisados, foram utilizados dois analisadores de energia do Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Maiores informações sobre estes equipamentos já foram descritos no item 4.4 e a forma com que eles foram instalados encontram-se nos itens que serão detalhados a seguir.

A primeira etapa das medições foi realizada entre os dias 26 de julho ao dia 01 de agosto de 2010. Os analisadores foram inicialmente instalados no hipermercado A, às 14h30 do dia 26 de julho - em que ficaram instalados e monitorando o consumo de energia até às 15h30 do dia 29 de julho de 2010. Neste mesmo dia os medidores foram retirados do hipermercado A e instalados no hipermercado B às 17h00, permanecendo até o dia 01 de agosto de 2010, quando foram retirados às 16h00.

A segunda etapa das medições foi realizada no período do dia 25 de janeiro ao dia 03 de fevereiro de 2011. Os analisadores foram inicialmente instalados no hipermercado B às 14h00 do dia 25 de janeiro, em que ficaram instalados e monitorando o consumo de energia até às 14h00 do dia 28 de janeiro de 2011. Posteriormente, no dia 31 de Janeiro os analisadores foram instalados no hipermercado A às 16h00, permanecendo até o dia 03 de fevereiro de 2011, quando foram retirados às 17h00.

Cada etapa de medição teve duração de três dias consecutivos, sendo os analisadores configurados para realizar a aquisição de dados a cada 15 segundos. Com estes valores, criou-se uma planilha no Excel onde foram calculados os valores médios a cada 15 minutos que foram utilizados a fim de montar a curva de carga diária para os sistemas de iluminação dos salões principais de venda de cada hipermercado. As medições de distribuição de iluminâncias foram realizadas em paralelo com as medições do consumo de energia elétrica.

4.7. Detalhamento das medições de energia no hipermercado A

Para realizar as medições do consumo de energia do sistema de iluminação do salão de vendas no primeiro piso do hipermercado A foi necessário identificar a origem dos circuitos que alimentavam este sistema. Estes circuitos têm origem no quadro de iluminação que fica no primeiro piso deste hipermercado, e pode ser visualizado na Figura 35. Este quadro é alimentado diretamente do quadro geral de baixa tensão (QGBT) do hipermercado.



Figura 35 – Quadro que alimenta os circuitos de iluminação do hipermercado A, onde foram instalados os analisadores de energia.

De acordo com os documentos encontrados com a equipe de manutenção do hipermercado e com visitas realizadas no local, levantou-se o diagrama unifilar deste painel, e as informações necessárias para identificar o local adequado para instalar os analisadores. O painel possui oito barramentos (A, B,C,D,E,F,G e H), onde seis deles são comandados por contadores. A Tabela 14 ilustra cada barramento existente neste painel, a quantidade de circuitos que está ligada a cada barramento, a descrição dos circuitos e também se é comandado por um contator.

Observando a Tabela 14 pode-se ver que são 18 circuitos que alimentam o sistema de iluminação do salão de vendas do hipermercado A, sendo 9 circuitos alimentados pelo barramento A e outros 9 pelo barramento B. Estes barramentos são comandados pelos contadores 1 e 2. Para monitorar ambos os barramentos, torna-se necessário o uso de dois analisadores de energia, sendo um ligado ao barramento A

(ou ao contator 1) e o outro ligado ao barramento B (ou ao contator 2). A Figura 36 mostra o diagrama unifilar dos circuitos que alimentam o sistema de iluminação artificial do salão de vendas deste hipermercado, os dispositivos de proteção e comando que estão ligados a eles, e a posição onde foram ligados os analisadores de energia para fazer a medição do consumo de energia e levantamento da curva de carga.

Tabela 14 – Identificação dos barramentos que constituem o quadro onde foi realizada a medição

Barramento	Contator	Circuitos	Descritivo
A	1	9	Iluminação principal - salão de vendas
B	2	9	Iluminação principal - salão de vendas
C	3	9	Iluminação de Emergência - salão de Vendas
D	4	4	Iluminação específica do depósito e circuitos reservas
E	5	1	Iluminação do depósito e circuitos reservas
F	-	7	Tomadas e circuitos reservas
G	-	3	Tomada para Carregador de Empilhadeira
H	6	5	Lojas existentes dentro do hipermercado

No diagrama unifilar da Figura 36 estão detalhados somente os circuitos ligados aos barramentos A e B, cujo intuito é ilustrar a instalação dos analisadores de energia.

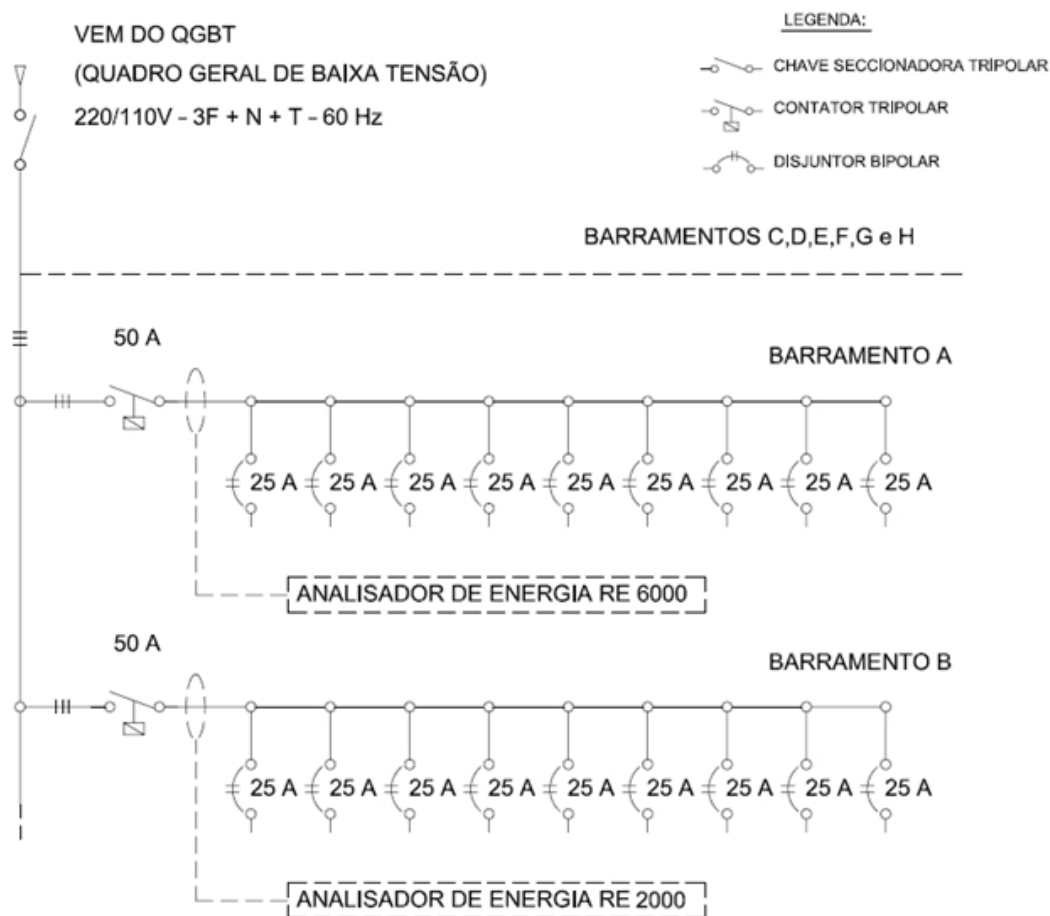


Figura 36 – Diagrama unifilar dos circuitos que alimentam o sistema de iluminação do salão principal de vendas do hipermercado A.

4.8. Detalhamento das medições de energia no hipermercado B

Para realizar as medições do consumo de energia do sistema de iluminação do salão de vendas do hipermercado B também foi necessário identificar a origem dos circuitos que alimentavam este sistema. Estes circuitos têm origem no quadro de iluminação que fica instalado na região do depósito do hipermercado (Figura 37). Este quadro é alimentado diretamente do quadro geral de baixa tensão (QGBT) do hipermercado.

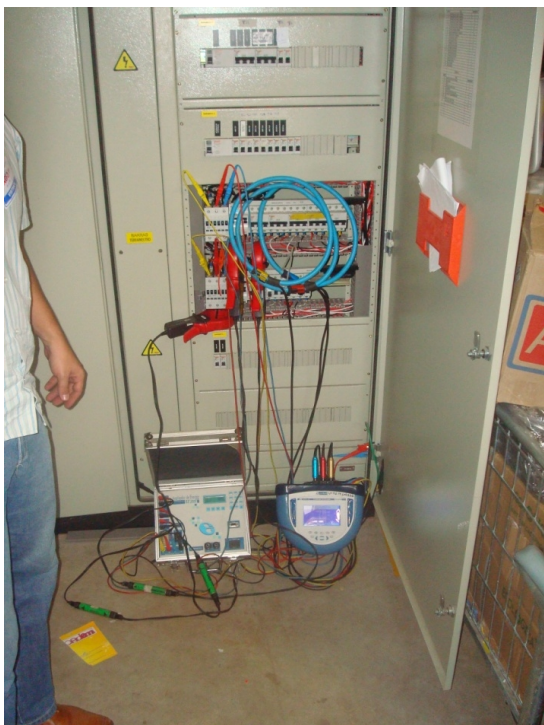


Figura 37 – Quadro que alimenta os circuitos de iluminação do hipermercado B, onde foram instalados os analisadores de energia.

De acordo com os documentos encontrados com a equipe de manutenção do hipermercado e visitas realizadas no local, levantou-se o diagrama unifilar deste painel, e as informações necessárias para identificar o local adequado para instalar os analisadores. O painel possui dez barramentos, onde três deles são comandados por contatores. Na Tabela 15, pode-se visualizar os barramentos existentes neste painel, a quantidade de circuitos que estão ligadas a este barramento, a descrição destes circuitos e também se existe ou não um contator que comanda este barramento.

Observando a pode-se ver que são 10 circuitos que alimentam o sistema de iluminação do salão de vendas do hipermercado B, sendo 5 circuitos alimentados pelo barramento H e outros 5 pelo barramento I. Estes barramentos são comandados pelos contatores CH e CI. Para monitorar ambos os barramentos, torna-se necessário o uso de dois medidores, sendo um ligado ao barramento H (ou ao contator CH) e o outro ligado ao barramento I (ou ao contator CI). A

Figura 38 mostra o diagrama unifilar dos circuitos que alimentam o sistema de iluminação artificial do salão de vendas, os dispositivos de proteção e comando que estão ligados a eles, e a posição onde foram ligados os analisadores de energia para fazer a medição do consumo de energia e levantamento da curva de carga.

No diagrama unifilar da Figura 38 estão detalhados somente os circuitos ligados aos barramentos H e I, cujo intuito é ilustrar a instalação dos analisadores de energia.

Tabela 15 – Identificação dos barramentos que constituem o quadro onde foi realizada a medição

Barramento	Contator	Circuitos	Descritivo
A	-	3	Iluminação de Emergência
B	-	3	Iluminação de Emergência
C	-	8	Tomadas e circuitos reserva
D	CD	9	Iluminação de Emergência
E	-	8	Tomadas e circuitos reserva
F	-	8	Tomadas e circuitos reserva
G	-	8	Tomadas e circuitos reserva
H	CH	5	Iluminação principal - salão de vendas
I	CI	5	Iluminação principal - salão de vendas
J	-	3	Iluminação de Emergência

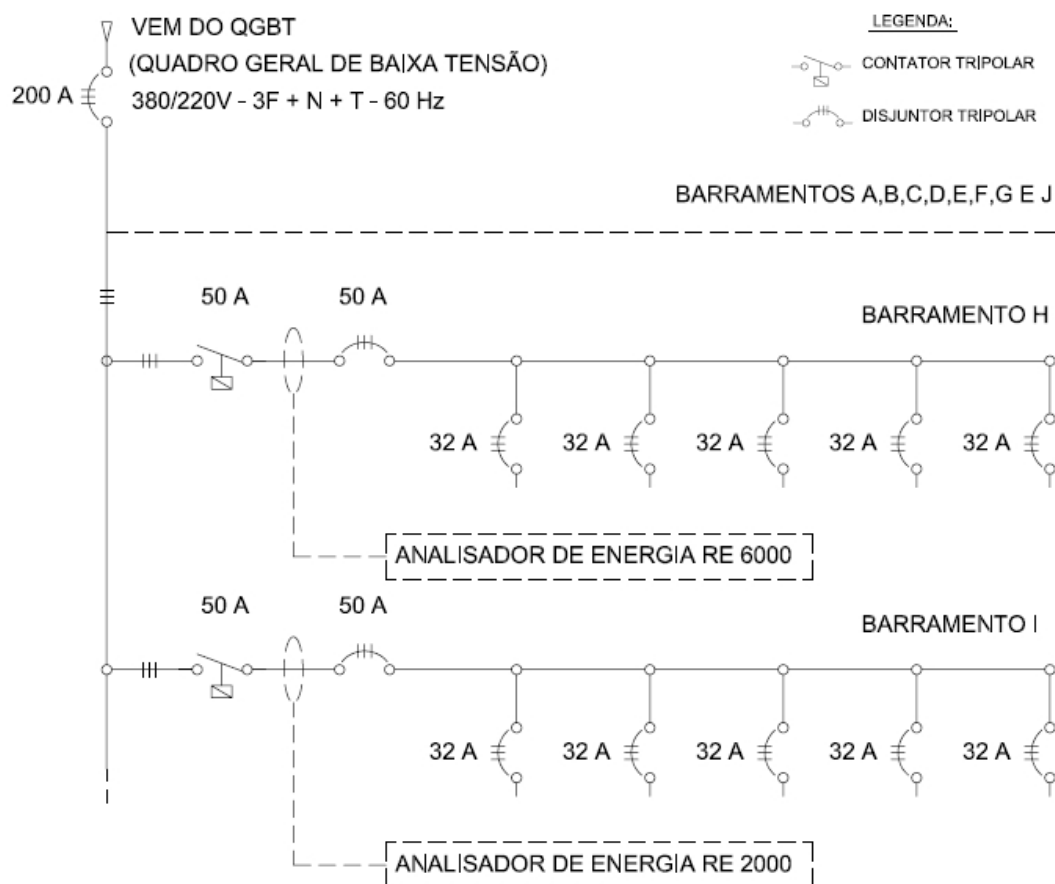


Figura 38 – Quadro de iluminação que alimenta os circuitos de Iluminação do salão de vendas do hipermercado B.

4.9. Critérios para comparação dos sistemas de iluminação

Para realizar a comparação entre os hipermercados serão utilizados todos os dados obtidos através dos levantamentos de campo, das medições de iluminação e das medições de consumo de energia, que encontram-se detalhados no item 5.4. Basicamente serão utilizados os parâmetros referentes aos níveis médios de iluminâncias, obtidos das medições realizadas durante o dia e noite, bem como a estimativa obtida para a contribuição da iluminação natural. Também estão listados os parâmetros referentes às medições de consumo de energia, como a demanda máxima, a demanda média, o consumo total, o consumo diário médio, a potência instalada, a potência instalada e a demanda média por metro quadrado e a área dos salões de vendas analisados. A descrição de cada um destes parâmetros encontra-se a seguir:

Consumo total [kWh]: valor obtido pela somatória dos consumos individuais em cada hora de medição realizada.

Potência máxima de consumo [kW]: valor de maior potência instantânea consumida pelo sistema de iluminação artificial observado nas curvas de carga.

Potência média de consumo [kW]: valor obtido pela divisão do consumo total por 72, que é o número total de horas nos três dias de medição.

Consumo diário médio [kWh]: valor obtido pela divisão do valor do consumo total dividido por 3, que é a quantidade total de dias medidos.

Potência instalada [kW]: é o valor obtido através do levantamento de campo da quantidade total de lâmpadas e reatores e a soma de todas as suas potências individuais.

Área do salão de vendas [m²]: Área da região do salão de vendas onde foram realizadas as medições, calculados com base nas plantas obtidas com a equipe de manutenção dos hipermercados.

Potência instalada por área [W/m²]: Relação entre a potência instalada e a área do ambiente analisado. Utilizado para avaliar a eficiência energética de ambos os hipermercados.

Consumo médio por área [W/m²]: Relação entre a potência média de consumo e a área do ambiente analisado. Utilizado para avaliar a eficiência energética de ambos os hipermercados pelo método do RTQ-C.

4.10. Avaliação utilizando os critérios do Procel Edifica

A metodologia descrita a seguir foi integralmente retirada do manual para aplicação do regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C), que define a metodologia utilizada pelo PROCEL Edifica de acordo com a portaria do INMETRO n.º 372 de setembro de 2010 e pode ser obtida gratuitamente no site <http://www.labeeee.ufsc.br/>.

Os sistemas de iluminação eficientes são definidos, segundo orienta o RTQ-C, através da densidade de potência instalada do sistema de iluminação e dos pré-requisitos específicos que garantam o dispêndio de energia com iluminação quando é efetivamente necessário. Deverão ser respeitados os critérios de controle do sistema de iluminação conforme descrito na Tabela 16, e que estão detalhados a seguir.

Tabela 16 – Relação entre pré-requisitos e níveis de eficiência.

Pré- requisitos	Nível A	Nível B	Nível C
1) Divisão dos circuitos	Sim	Sim	Sim
2) Contribuição da luz natural	Sim	Sim	
3) Desligamento automático do sistema de iluminação	Sim		

4.10.1. Divisão dos circuitos

Cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna do ambiente. Cada controle manual deve ser facilmente acessível e localizado de tal forma que seja possível ver todo o sistema de iluminação que está sendo controlado. Caso não seja possível visualizar todo o ambiente iluminado, é necessário informar o usuário, através de uma representação gráfica da sala, qual a área abrangida pelo controle manual. Por questões de segurança, ambientes de uso público poderão ter o controle manual em local de acesso a funcionários.

Para ambientes maiores do que 250 m^2 , cada dispositivo de controle instalado deve controlar:

- Uma área de até 250 m^2 para ambientes de até 1000 m^2 .
- Uma área de até 1000 m^2 para ambientes maiores que 1000 m^2 .

O item de divisão de circuitos define que cada ambiente deve possuir no mínimo um dispositivo de controle manual que permita o acionamento independente da iluminação interna do ambiente com facilidade, localizado de forma que permita a visão clara de todo ambiente. Este requisito permite que os usuários de cada ambiente controlem o seu uso, ajustando a iluminação às suas necessidades específicas.

Para o caso de ambientes com área inferior a 250 m^2 , é permitido um controle para todo o ambiente. No caso de ambientes com grandes áreas, acima de 250 m^2 , o RTQ-C determina a divisão do sistema em parcelas menores, de no máximo 250 m^2 , cada uma com um controle independente, a fim de setorizar o sistema de acionamento quando houver poucos usuários no local, evitando grandes áreas iluminadas sem ocupação. Se o ambiente apresentar área maior que 1000 m^2 , então o sistema de iluminação deve ser dividido em parcelas com áreas máximas de 1000 m^2 .

4.10.2. Contribuição da luz natural

Ambientes com aberturas voltadas para o ambiente externo ou para o átrio não coberto ou de cobertura translúcida e que contenham mais de uma fileira de luminárias paralelas às aberturas devem possuir um controle instalado, manual ou automático, para o acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima à abertura, de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível. Unidades de edifícios de meios de hospedagem são exceções a este pré-requisito.

Para reduzir a necessidade de uso da iluminação artificial quando há luz natural suficiente para promover a iluminância adequada no plano de trabalho, o RTQ-C determina que as luminárias próximas às janelas devam possuir um dispositivo de desligamento independente do restante do sistema.

4.10.3. Desligamento automático do sistema de iluminação

O sistema de iluminação interno de ambientes maiores que 250 m² deverá possuir um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação. Este dispositivo de controle automático deve funcionar de acordo com uma das seguintes opções:

- Um sistema automático com desligamento da iluminação em um horário pré-determinado. Deverá existir uma programação independente para um limite de área de até 2.500 m²; ou
- Um sensor de movimento que desligue a iluminação 30 minutos após a saída de todos os ocupantes; ou
- Um sinal de outro controle ou sistema de alarme que indique que a área está desocupada.

São exceções a estes casos, ambientes que devem propositadamente funcionar durante 24 horas, ambientes onde existe tratamento ou repouso de pacientes e ambientes no qual o desligamento automático da iluminação pode, comprovadamente, oferecer riscos à integridade física dos usuários.

Para evitar ambientes desocupados com iluminação artificial ativada, o RTQ-C determina a utilização de dispositivos que garantam o desligamento dos sistemas de iluminação quando ninguém se encontra presente. O RTQ-C estipula três métodos para garantir que ambientes não ocupados não continuem com o sistema de iluminação ligado.

A aplicação de um destes métodos é obrigatória para ambientes com área superior a 250 m² para o nível A. É necessário frisar que o cumprimento deste pré-requisito não exclui a necessidade de existir um controle manual no ambiente, proporcionando ao ocupante flexibilidade de uso. Esta medida, controle independente de acionamento do sistema de iluminação, visa permitir que os usuários possam controlar o uso da iluminação de acordo com a necessidade. Já o desligamento automático, visa melhorar o uso do sistema de iluminação na ausência de usuários. Cada método, portanto, tem objetivos diferentes e o cumprimento de um não substitui o atendimento ao outro.

4.10.4. Procedimento de determinação da eficiência

O RTQ-C oferece dois métodos para avaliar os sistemas de iluminação, o método da área do edifício ou o método das atividades do edifício. Para os hipermercados avaliados, o comércio é a atividade principal desenvolvida em mais de 30% da área do edifício, e desta forma, a RTQ-C orienta a utilização do método da área do edifício. Este método determina limites de densidade de potência em iluminação para edifícios como um todo. Os limites determinados pelo regulamento já consideram a existência de ambientes com funções secundárias, como copas, circulações, escadas e depósitos. Desta forma, utilizam-se apenas os valores das atividades principais do edifício.

Além dos limites de potência instalada estabelecidos pela Tabela 17, devem ser respeitados os três critérios de controle do sistema de iluminação, de acordo com o nível de eficiência pretendido, sendo eles:

1. Divisão dos circuitos.
2. Contribuição da luz natural.
3. Desligamento automático do sistema de iluminação.

Tabela 17 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência pretendido - Método da área do edifício (Adaptado de INMETRO, 2010)

Função do Edifício	Densidade de Potência de iluminação limite (W/m ²)			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Hotel	10,8	12,4	14,0	15,7
Restaurante	9,6	11,0	12,5	13,9

5. Resultados e Discussão

Neste capítulo serão relatados e discutidos o levantamento do mercado consumidor de energia elétrica no estado do Mato Grosso do Sul e em sua capital, as medições da distribuição de iluminação interna e do consumo de energia elétrica nos sistemas de iluminação artificial dos dois hipermercados A e B estudados, bem como a avaliação dos sistemas de iluminação destes hipermercados segundo os critérios do PROCEL Edifica.

5.1. Mercado consumidor de energia elétrica do Mato Grosso do Sul

A região Centro-Oeste apresenta um comportamento atípico quando comparado com outras regiões brasileiras, pois enquanto estas apresentam o setor industrial como o responsável pelo maior nível de consumo de energia elétrica, a região Centro-Oeste apresenta os setores residenciais e comerciais como os que mais consomem energia. Isso reflete o fato de que a região Centro-Oeste possui um nível de industrialização inferior quando comparado às outras regiões do país. Este comportamento é semelhante ao observado nos países da América Latina que possuem um menor índice de industrialização, conforme citado no item 3.1. Desta forma, o conceito de eficiência energética aplicado às edificações comerciais e residenciais merece uma atenção ainda maior em uma região com estas características.

Para chegar a estes dados, foram feitos levantamentos junto à Gerência de Planejamento de Mercado e Gestão de Risco da Empresa Energética do Mato Grosso do Sul (ENERSUL – Grupo Rede), em que foi levantada a característica de consumo total faturado nos três setores citados anteriormente durante o período de Janeiro de 2005 a Dezembro de 2010 para a região de concessão da ENERSUL no estado do Mato Grosso do Sul e também em sua Capital, o município de Campo Grande, que podem ser visualizadas nas Figura 39 e Figura 40.

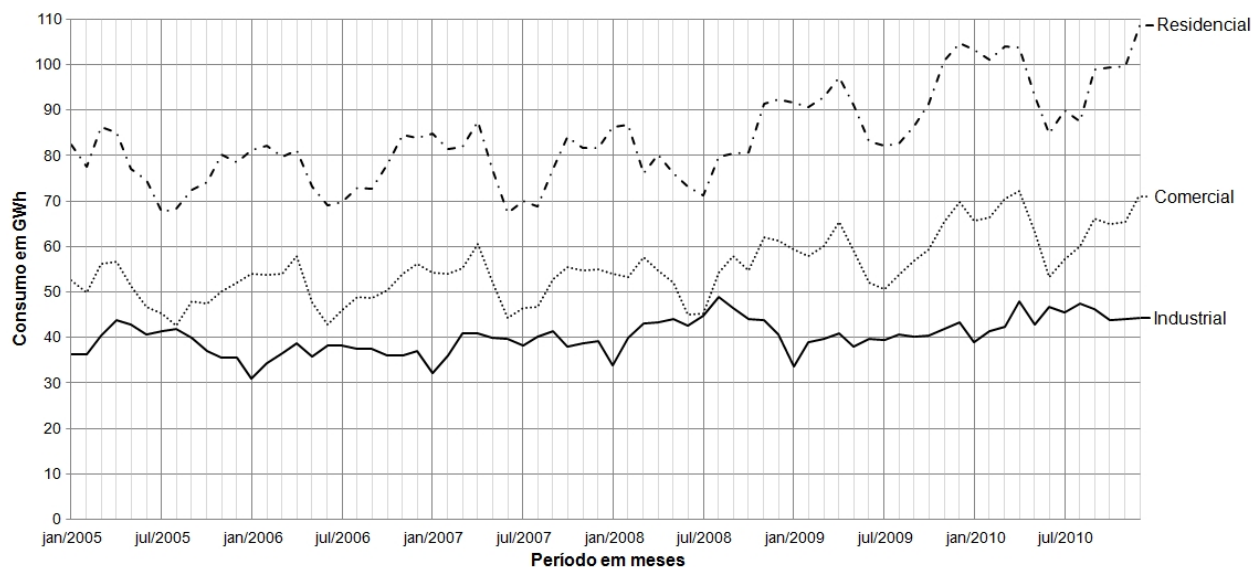


Figura 39 – Característica de Consumo dos setores residencial, industrial e comercial no estado do Mato Grosso do Sul de Janeiro de 2005 a Dezembro de 2010.

Observando os dados da Figura 39 e Figura 40, pode-se ver um comportamento interessante quando comparamos o consumo de energia nos meses de Janeiro (verão) e Julho (inverno), onde o consumo no mês referente ao inverno é reduzido, provavelmente devido à redução no uso de equipamentos de ar condicionado tanto no setor comercial quanto no residencial. O setor industrial não apresenta este comportamento.

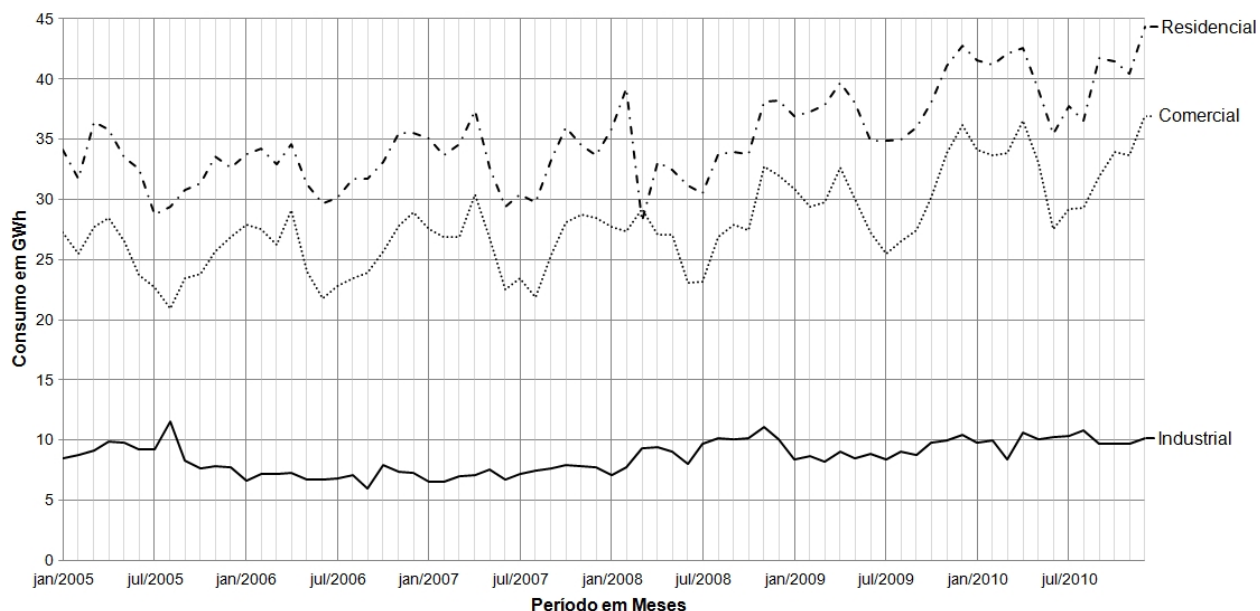


Figura 40 - Característica de Consumo dos setores residencial, industrial e comercial na cidade de Campo Grande – MS de Janeiro de 2005 a Dezembro de 2010.

5.2. Hipermercado A

5.2.1. Medição da distribuição de iluminação interna

Os resultados da primeira etapa das medições realizadas durante o período de julho e agosto de 2010 no hipermercado A encontram-se na Tabela 18. Os principais valores obtidos com as medidas foram os valores de iluminância máximos e mínimos observados e os valores médios calculados com base nos valores de cada medida. Maiores detalhes sobre cada medição individual pode ser encontrada no **Apêndice A**.

Tabela 18 – Resultados da primeira etapa de medição realizada no hipermercado A.

Medida	Data	Horário	Mínimo (lux)	Máximo (lux)	Médio (lux)
1	26/07	16h00	344	1490	795
2	26/07	20h00	370	1504	843
3	27/07	00h00	71	524	274
4	27/07	09h00	390	1530	834
5	27/07	14h00	369	1530	840
Média*	-	-	368	1513	828

* Média entre as medidas 1, 2, 4 e 5, realizadas nas mesmas condições de operação.

Durante a primeira etapa das medidas realizadas no hipermercado A, o valor médio da distribuição de iluminâncias foi de 828 lux. Pode-se observar que este nível apresentou pequenas variações ao longo dos períodos do dia. Isto se justifica pelo fato do hipermercado possuir somente o sistema de iluminação artificial, o qual permanece ligado durante suas 24 horas de funcionamento, fornecendo uma iluminação praticamente constante ao longo do dia. No período das 23h00 às 7h00, aproximadamente, a equipe de manutenção do hipermercado desliga parte do sistema de iluminação manualmente com o intuito de reduzir o consumo de energia, pois neste

período o fluxo de pessoas é reduzido e estas estão acostumadas com menores níveis de iluminação proporcionados pelo ambiente noturno.

Isto não acontece durante os finais de semana, pois a equipe de manutenção fica ausente do hipermercado e o sistema de iluminação permanece totalmente ligado. Neste período da madrugada e devido ao desligamento parcial do sistema de iluminação, o nível médio da distribuição de iluminação é reduzido a 274 lux, o que representa 33% do nível médio alcançado durante os períodos do dia. O valor da distribuição média de iluminâncias no hipermercado A foi calculado utilizando os valores obtidos nas medidas 1, 2, 4 e 5, e a curva isolux que representa esta distribuição encontra-se na Figura 41. A medida 3 não foi utilizada para calcular esta média pois não faz sentido utilizar os valores obtidos no período da madrugada já que não são compatíveis e condizentes com as outras medidas.

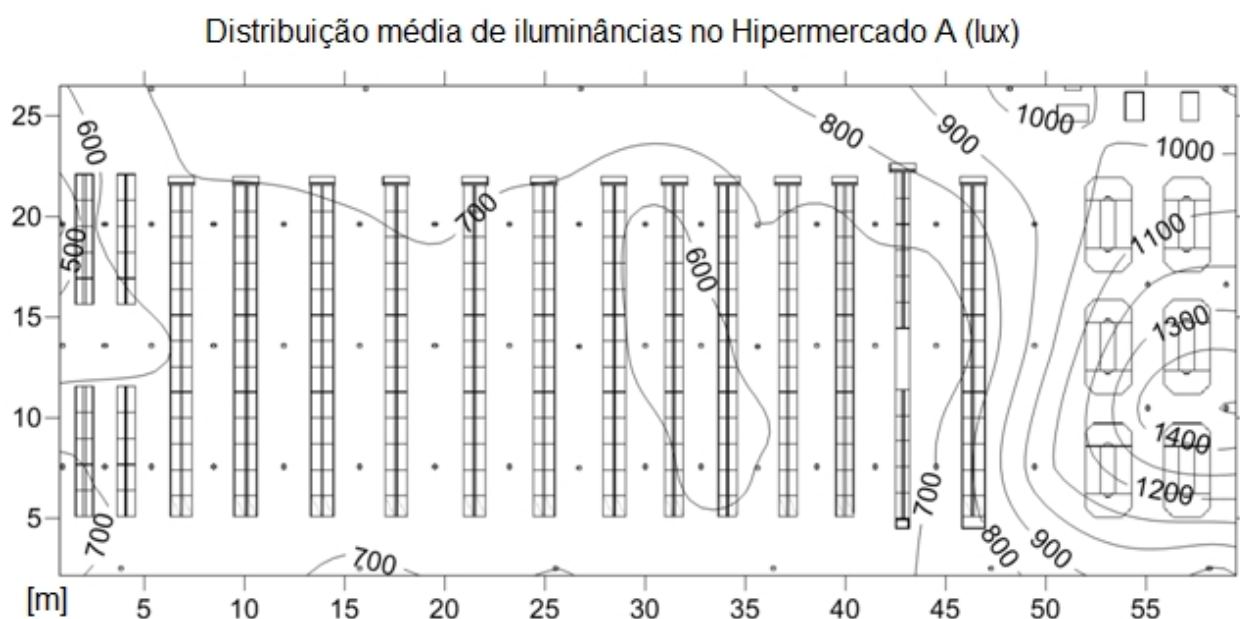


Figura 41 - Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias no hipermercado A, durante a primeira etapa das medidas realizadas entre julho e agosto de 2010.

Os resultados da segunda etapa das medidas realizadas durante o período de janeiro e fevereiro de 2011 no hipermercado A encontram-se na Tabela 19. Os principais valores obtidos com as medidas foram os valores de iluminância máximos e mínimos observados e os valores médios calculados com base nos valores medidos. Maiores detalhes sobre cada medição individual pode ser encontrada no **Apêndice A**.

Durante a segunda etapa das medidas realizadas no hipermercado A, obteve-se 736 lux como valor médio da distribuição de iluminâncias. Este valor representa uma redução de 11% ao obtido na primeira etapa. Como causas que podem ter influenciado esta redução, foram identificados a redução natural da iluminação das lâmpadas após seis meses de operação, a falta de manutenção e possível acúmulo de sujeira sobre as lâmpadas e luminárias - , e as alterações ocorridas no interior do hipermercado como mudança de produtos de prateleiras (alteração da cor das embalagens dos produtos nas prateleiras e suas refletâncias), adição e movimentação de banners internos utilizados para propaganda de ofertas, entre outros itens que serão abordados em maiores detalhes no item 5.5.

Tabela 19 – Resultados da segunda etapa de medição realizada no hipermercado A.

Medida	Data	Horário	Mínimo (lux)	Máximo (lux)	Médio (lux)
1	01/02	10h00	353	1390	744
2	01/02	17h00	340	1340	725
3	01/02	22h00	350	1434	752
4	02/02	00h00	62	349	234
5	02/02	10h00	338	1380	724
Média*	-	-	345	1367	736

* Média entre as medidas 1, 2, 3 e 5, realizadas nas mesmas condições de operação.

De forma semelhante aos resultados da etapa anterior, pode-se observar que os valores médios apresentaram pequenas variações ao longo dos períodos do dia. Durante a madrugada, quando o sistema de iluminação artificial é parcialmente desligado, observou-se que o nível médio da distribuição de iluminâncias foi de 234 lux, o que representa 32% do nível médio alcançado durante os períodos do dia. O valor da distribuição média de iluminâncias no hipermercado A foi calculado utilizando os valores obtidos nas medidas 1, 2, 3 e 5, e a curva isolux que representa esta distribuição encontra-se na Figura 42. A medida 4 não foi utilizada para este cálculo por ter ocorrido de madrugada, período em que o sistema de iluminação artificial estava parcialmente desligado.

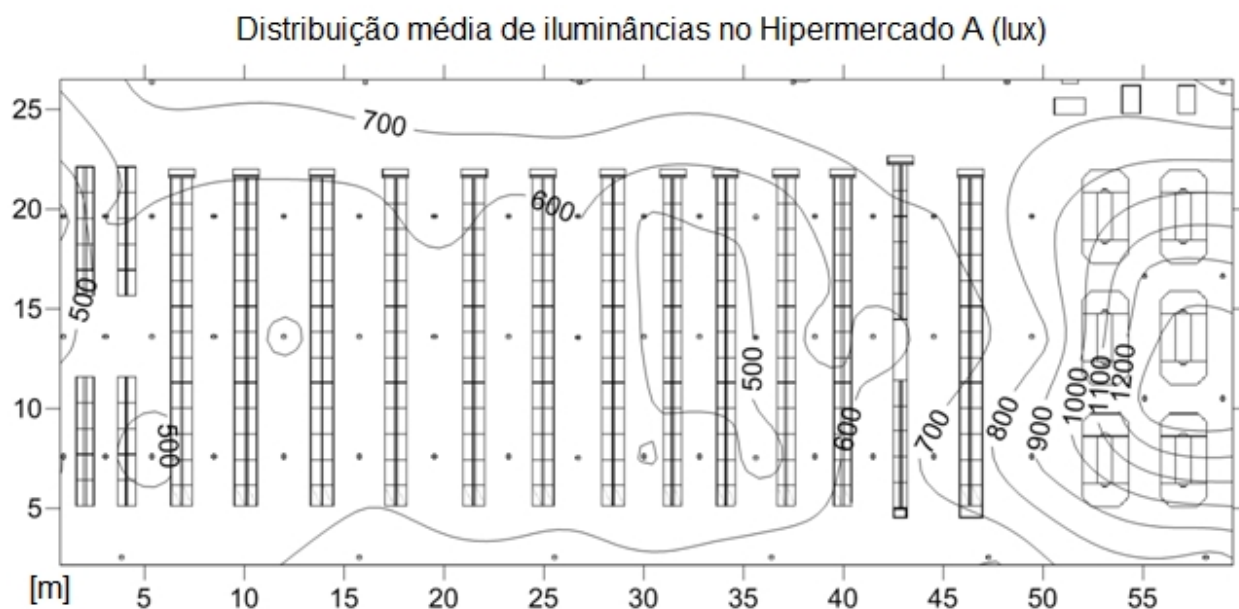


Figura 42 – Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias no hipermercado A, durante a segunda etapa das medidas realizadas entre janeiro e fevereiro de 2011.

Durante todas as medidas observou-se a existência de uma região de maior claridade e outra região de menor claridade. A região de maior claridade, ilustrada na Figura 43, se encontra na seção de hortifrúti e apresenta maior claridade devido às fileiras adicionais de luminárias existentes.



Figura 43 - Região de maior claridade do hipermercado A.

A região de menor claridade, ilustrada na Figura 44, se encontra no canto oposto à seção de hortifrúti e apresenta a menor claridade. Isso se deve às fileiras de

luminárias que terminam na metade do corredor, a existência de pilares que bloqueiam a iluminação e aos produtos que possuem embalagem de cor escura, possuindo menores valores de refletâncias.



Figura 44 - Região de menor claridade do hipermercado A.

5.2.2. Medição do consumo de energia

A primeira etapa das medições do consumo de energia elétrica no sistema de iluminação do hipermercado A foi feita entre os dias 26 e 29 de julho de 2010, e apesar de ter sido realizada em quatro dias, monitorou-se três dias ininterruptos de consumo de energia. A Figura 45 ilustra a curva de carga obtida neste período em que os analisadores foram instalados.

A variação do consumo do sistema de iluminação pode ser vista nas quatro curvas traçadas, obtidas para cada dia de monitoração, sendo a curva azul para o dia 26, vermelha para o dia 27, verde para o dia 28 e roxa para o dia 29, conforme ilustra a Figura 45. Pode-se observar que as medidas foram iniciadas no dia 26 por volta das 14h30 e finalizadas no dia 29, em torno de 15h30.

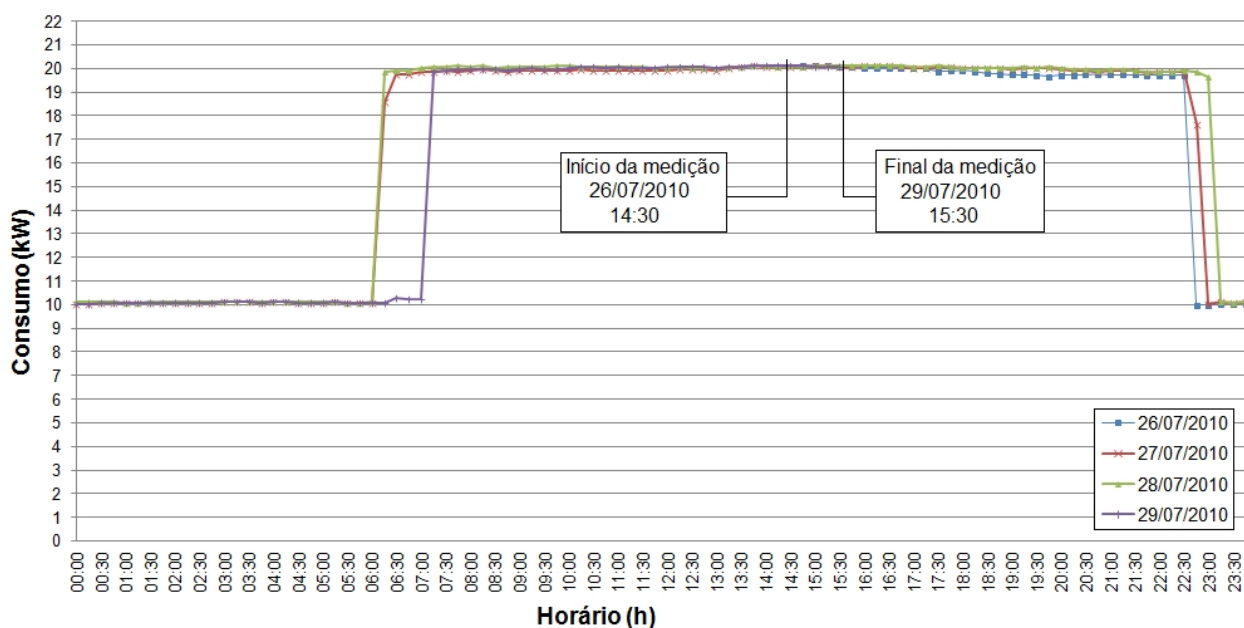


Figura 45 – Curva de carga do sistema de iluminação artificial no hipermercado A – primeira etapa de medição.

Pode-se observar que existem dois patamares em que as curvas de carga permanecem praticamente constantes: 10 kW e 20 kW. O patamar de 20 kW representa o sistema artificial integralmente ligado, enquanto que o de 10 kW ocorre quando o sistema é parcialmente desligado. Pode-se perceber que o sistema é integralmente ligado no início da manhã, entre as 6h00 e 7h30, permanecendo neste patamar até o final do dia, entre as 22h30 e 23h30. Este comportamento coincide com o fato já descrito anteriormente, de que a equipe de manutenção desliga parte do sistema de iluminação artificial próximo às 22h30 e religa a iluminação no início da manhã.

Segundo a equipe de manutenção, este acionamento não ocorre durante os finais de semana, pois esta não permanece no hipermercado durante esses dias. Isso sugere que nos finais de semana a demanda permaneça em um patamar fixo de 20 kW desde o início das sextas-feiras até os finais dos dias de domingo. Como estas medidas foram feitas durante a semana, não houve a possibilidade de verificar se este comportamento realmente ocorre. As informações das medidas ilustradas na Figura 45 podem ser examinadas em maiores detalhes no **Apêndice C**.

Tabela 20 – Levantamento do Consumo de energia ao longo das horas do dia no hipermercado A – primeira etapa de medição.

Dia	26/07/2010	27/07/2010	28/07/2010	29/07/2010
Hora	Consumo (kWh)			
00h00 às 01h00	-	10,06	10,10	10,06
01h00 às 02h00	-	10,06	10,11	10,06
02h00 às 03h00	-	10,09	10,13	10,09
03h00 às 04h00	-	10,10	10,13	10,10
04h00 às 05h00	-	10,08	10,13	10,08
05h00 às 06h00	-	10,08	10,11	10,08
06h00 às 07h00	-	19,50	19,93	10,21
07h00 às 08h00	-	19,89	20,07	19,93
08h00 às 09h00	-	19,91	20,06	19,95
09h00 às 10h00	-	19,91	20,09	19,98
10h00 às 11h00	-	19,92	20,07	20,06
11h00 às 12h00	-	19,90	20,04	20,03
12h00 às 13h00	-	19,95	20,03	20,04
13h00 às 14h00	-	20,07	20,09	20,09
14h00 às 15h00	-	20,08	20,10	20,11
15h00 às 16h00	20,07	20,10	20,12	-
16h00 às 17h00	20,02	20,09	20,12	-
17h00 às 18h00	19,92	20,03	20,07	-
18h00 às 19h00	19,79	20,01	20,01	-
19h00 às 20h00	19,70	20,01	20,04	-
20h00 às 21h00	19,74	19,90	19,96	-
21h00 às 22h00	19,73	19,87	19,90	-
22h00 às 23h00	14,85	16,84	19,82	-
23h00 às 00h00	10,03	10,10	10,08	-
TOTAL	163,86	406,56	411,31	230,88

Com base nos valores obtidos para as curvas de carga do hipermercado A, foram calculados os valores do consumo de energia ao longo das horas do dia, que podem ser vistos na Tabela 20. Estes valores indicam o consumo de energia elétrica do sistema de iluminação durante cada hora do dia. Pode-se ver que no primeiro dia, considerando que a medição se iniciou às 14h30, foram consumidos 163,83 kWh, seguindo de 406,56 e 411,31 kWh para o segundo e terceiro dia, cujas medidas foram realizadas ao longo de todo o dia, e de 230,88 kWh para o quarto dia, cuja medida terminou às 15h30.

Durante os três dias ininterruptos em que foram realizadas estas medições, o sistema de iluminação artificial do hipermercado A consumiu um total de 1.212,61 kWh, que em média representa um consumo diário de 404,20 kWh.

A Figura 46 ilustra o consumo diário obtido durante as medições, na qual cada barra colorida representa o consumo de energia em kWh de cada dia de medição naquele horário específico. Pode-se ver que o nível de consumo de energia do sistema de iluminação demonstrou ser praticamente constante ao longo das horas dos dias, exceto em dois horários: das 6h00 às 7h00 e das 22h00 às 23h00. Estes horários representam exatamente a transição entre o período em que o sistema se encontra integralmente e parcialmente ligado, e esta não uniformidade ocorre devido ao acionamento ser manual e não automático.

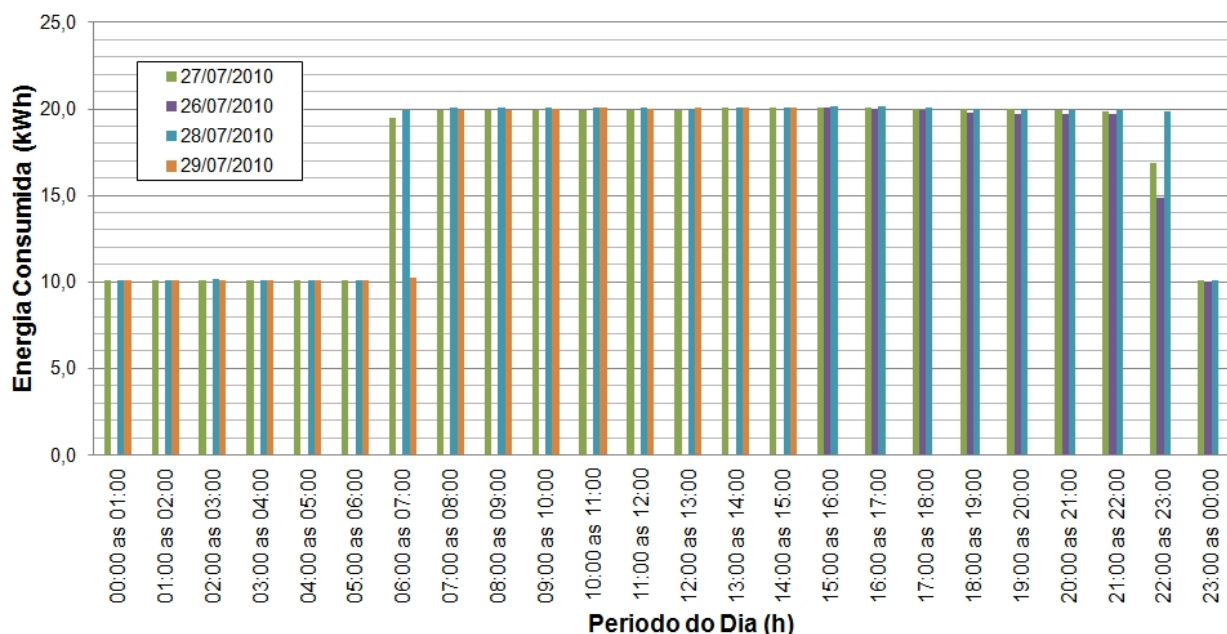


Figura 46 - Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado A – primeira etapa.

Pode-se ver, tanto na Figura 46 como na Figura 45, que estes acionamentos em ambas as transições não ocorrem sempre no mesmo horário. Esta diferença de acionamento pode representar um consumo adicional de 10 kWh por dia caso o sistema seja acionado uma hora antes ao ligar, ou uma hora depois ao desligar, considerando horários padrões para ligar e desligar o sistema. Caso o sistema seja ligado uma hora antes e desligado uma hora depois do horário padronizado, o consumo adicional, somente devido a este atraso, pode chegar a 20 kWh por dia.

Supondo que esta situação ocorra em dez dias dentro de um mês, este consumo adicional pode chegar a 200 kWh no mês, e caso isso se prolongue ao longo do ano, pode-se chegar a um consumo adicional de 2.400 kWh somente devido a estes atrasos. Levando em consideração que este acionamento não seja realizado durante o final de semana, devido à ausência da equipe de manutenção no hipermercado, pode-se ver na Figura 46 que o sistema permaneceria integralmente ligado durante sete horas no período das madrugadas de sexta para sábado, sábado para domingo e domingo para segunda, interagindo três dias e, portanto, vinte e uma horas por final de semana. Considerando quatro finais de semana em um mês, isso representa um período de oitenta e quatro horas consumindo 10 kW adicionais, o que representa uma

quantidade de 840 kWh em um mês e 10.080 kWh em um ano. Para evitar que este consumo adicional seja feito, aconselha-se o uso de sistemas automatizados que efetuem este chaveamento na mesma hora todos os dias, oferecendo uma redução significativa no consumo de energia elétrica.

A segunda etapa das medições foi realizada entre os dias 31 de janeiro a 3 de fevereiro de 2011, e apesar de terem sido realizadas em quatro dias, foram monitorados três dias ininterruptos de consumo de energia. A Figura 47 ilustra a curva de carga obtida neste período em que os analisadores foram instalados.

A variação do consumo do sistema de iluminação pode ser vista nas quatro curvas traçadas, obtidas para cada dia de monitoração, sendo a curva azul para o dia 31, vermelha para o dia 1, verde para o dia 2 e roxa para o dia 3, conforme ilustra a Figura 47. Pode-se observar que a medição foi iniciada no dia 31 por volta das 16h45 e permaneceu até o dia 3, em torno de 14h15. Neste período, observou-se um comportamento semelhante, porém com pequenas diferenças nos valores apresentados na primeira etapa de medidas. Desta forma, a demanda permaneceu praticamente constante em dois patamares: 10,6 kW e 19,4 kW.

Admite-se que o patamar de 19,4 kW seja para o sistema artificial integralmente ligado, enquanto que o de 10,6 kW ocorre quando o sistema é parcialmente desligado. Os horários de transição entre o sistema integralmente e parcialmente ligado foram semelhantes ao observado na etapa anterior, também apresentando pequenas diferenças no horário de acionamento. Foi observado que no final do dia 31 de janeiro, o sistema não foi desligado, permanecendo ligado por toda a madrugada. No dia 1 de fevereiro houve um atraso considerável no desligamento do sistema de iluminação, tendo ocorrido por volta da meia-noite. Ambos estes acontecimentos são resultados da característica manual do acionamento do sistema de iluminação, que está suscetível a erros e distrações humanas. Maiores detalhes sobre essas medidas podem ser encontrados no **Apêndice C**.

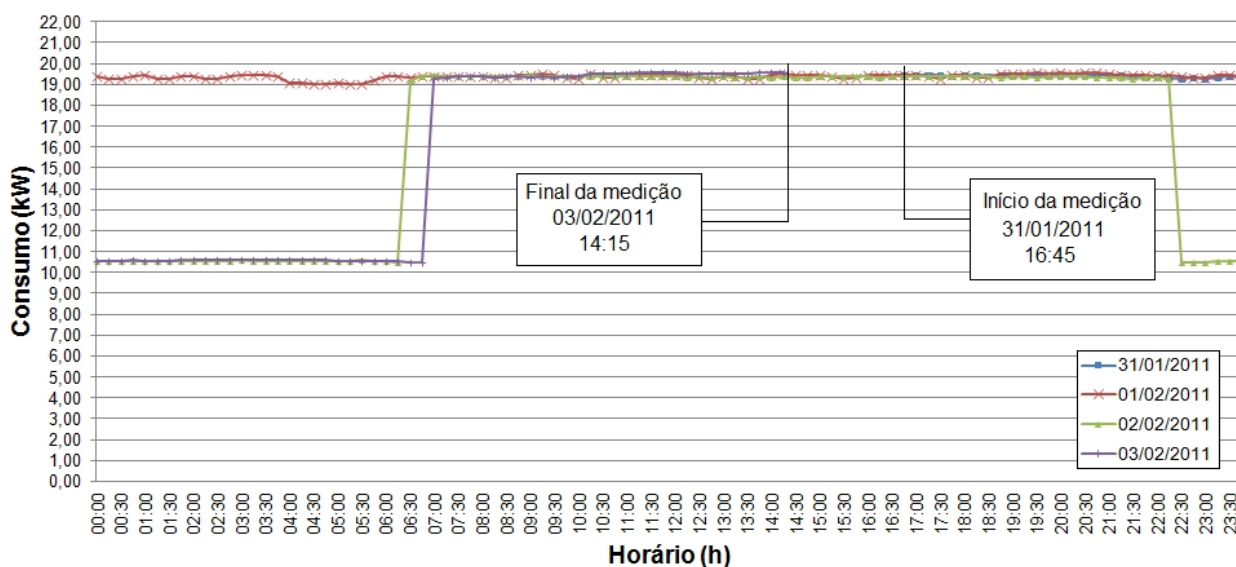


Figura 47 – Curva de Carga do sistema de iluminação artificial no hipermercado A – segunda etapa de medição.

A Tabela 21 ilustra os valores de consumo de energia ao longo das horas do dia, calculados com base nos valores obtidos para a curva de carga. Estes valores indicam o consumo de energia elétrica do sistema de iluminação durante cada hora do dia. Pode-se ver que no primeiro dia, considerando que a medição se iniciou às 16h45, foram consumidos 145,45 kWh, seguido de 462,63 e 394,19 kWh para o segundo e terceiro dia, cujas medidas foram realizadas ao longo de todo o dia, e de 217,18 kWh para o quarto dia, cuja medida terminou às 14h15.

Nos três dias em que foram realizadas estas medições, o sistema de iluminação artificial do hipermercado A consumiu um total de 1.219,44 kWh, que em média representa um consumo diário de 406,48 kWh.

A Figura 48 ilustra o consumo diário obtido durante a segunda etapa de medições, na qual cada barra colorida representa o consumo de energia em kWh de cada dia de medição naquele horário específico.

Tabela 21 – Levantamento do Consumo de energia ao longo das horas do dia no hipermercado A – segunda etapa de medição.

Dia	25/01/2011	26/01/2011	27/01/2011	28/01/2011
Hora	Consumo (kWh)			
00h00 às 01h00	-	19,33	10,55	10,57
01h00 às 02h00	-	19,32	10,56	10,57
02h00 às 03h00	-	19,33	10,57	10,58
03h00 às 04h00	-	19,33	10,56	10,58
04h00 às 05h00	-	19,04	10,57	10,57
05h00 às 06h00	-	19,15	10,56	10,55
06h00 às 07h00	-	19,36	17,14	12,69
07h00 às 08h00	-	19,38	19,39	19,37
08h00 às 09h00	-	19,38	19,38	19,36
09h00 às 10h00	-	19,39	19,38	19,36
10h00 às 11h00	-	19,40	19,40	19,51
11h00 às 12h00	-	19,45	19,38	19,55
12h00 às 13h00	-	19,34	19,35	19,52
13h00 às 14h00	-	19,34	19,34	19,53
14h00 às 15h00	-	19,44	19,35	4,89
15h00 às 16h00	-	19,36	19,38	-
16h00 às 17h00	9,72	19,45	19,37	-
17h00 às 18h00	19,42	19,38	19,37	-
18h00 às 19h00	19,42	19,41	19,35	-
19h00 às 20h00	19,44	19,53	19,36	-
20h00 às 21h00	19,45	19,53	19,36	-
21h00 às 22h00	19,37	19,43	19,30	-
22h00 às 23h00	19,28	19,37	12,68	-
23h00 às 00h00	19,35	17,21	10,55	-
TOTAL	145,45	462,63	394,19	217,18

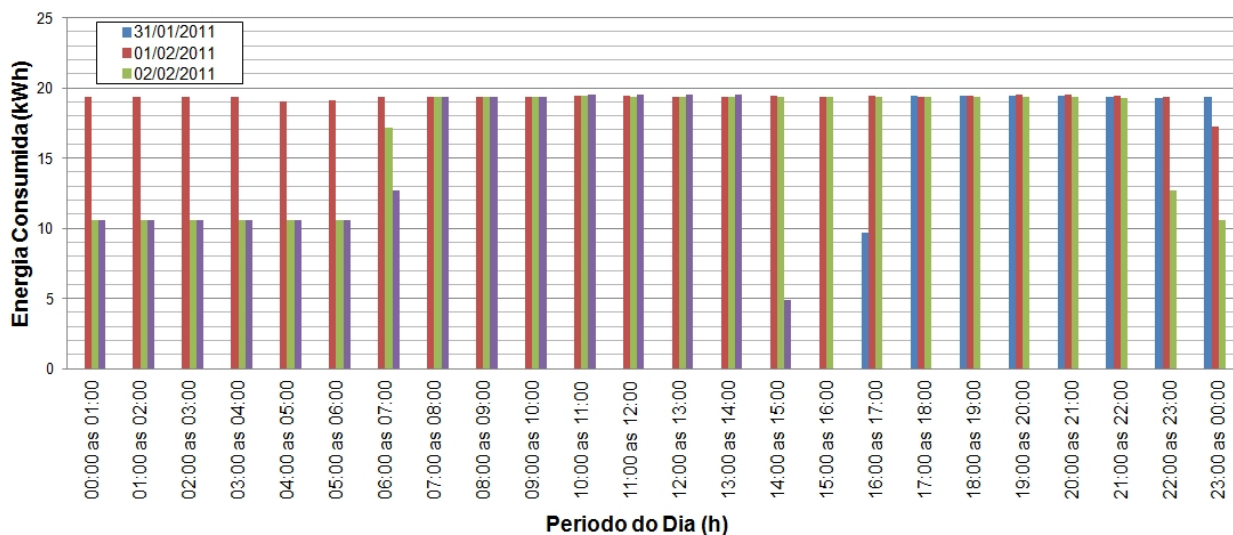


Figura 48 - Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado A – segunda etapa de medição.

Esses dados mostram um consumo médio de 19,6 kWh para cada hora em que o sistema de iluminação permanece integralmente ligado, e de 10,6 kWh quando este se encontra parcialmente ligado. Estes valores apresentam pequenas diferenças quando comparados aos obtidos na primeira etapa. Acredita-se que estas diferenças estão relacionadas a pequenas alterações que podem ter ocorrido neste intervalo de tempo no sistema de iluminação. Mudanças como substituição de lâmpadas e reatores, adição e o possível manejo de um circuito para outro, bem como a presença de lâmpadas e reatores queimados e que não foram trocados até o período de medição. Estes resultados também evidenciam o fato de que o acionamento manual pode ocasionar desperdícios de energia, onde o sistema de iluminação permaneceu completamente ligado durante o final da noite do dia 31 de janeiro e toda a madrugada do dia 1 de fevereiro. Neste caso, o sistema de iluminação permaneceu das 22h30 do dia 31 de janeiro até as 8h00 do dia 1 de fevereiro, consumindo algo próximo a 10 kWh adicionais por hora por um período próximo à 9 horas e meia, totalizando 95 kWh, somente nesta noite.

5.2.3. Avaliação utilizando os critérios do PROCEL Edifica

Para avaliar o sistema de iluminação do salão principal de vendas do hipermercado A utilizando os critérios do PROCEL Edifica, foi utilizada a metodologia da área do edifício, conforme já descrita no item 4.10.4. Desta forma, tem-se:

- A. Identificar a atividade principal do edifício, de acordo com a
- B. Tabela 17, e a densidade de potência de iluminação limite ($DPI_L - W/m^2$) para cada nível de eficiência.

Atividade principal do edifício: Comércio

$DPI_L (W/m^2)$:

Nível A: 15,1

Nível B: 17,4

Nível C: 19,6

Nível D: 21,9

- C. Determinar a área iluminada do edifício.

Área iluminada do Salão (m^2): 1689,1

- D. Multiplicar a área iluminada pela DPI_L , para encontrar a potência limite do edifício.

Potência limite do salão (W):

Nível A: 25.505,4

Nível B: 29.390,3

Nível C: 33.106,4

Nível D: 36.991,3

- E. Quando o edifício for caracterizado por até três atividades principais, determina-se a densidade de potência de iluminação limite para cada atividade e a área iluminada para cada uma. A potência limite para o edifício será a soma das potências limites para cada atividade.

Atividade principal: Comércio

F. Comparar a potência total instalada no edifício e a potência limite para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação.

Potência instalada no salão (W): 30.470

30,5 kW (P. Inst.) < 33,1 kW (Nível C)

Portanto, adota-se Nível C.

Tabela 22 – Avaliação do sistema de iluminação do hipermercado A pelos critérios do PROCEL EDIFICA.

Função do edifício	DPI _L (W/m ²)			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Área (m ²)	Potência limite (W)			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
1689,1	25.505,4	29.390,3	33.106,4	36.991,3

G. Após determinar o nível de eficiência alcançado pelo edifício, deve-se verificar o atendimento dos pré-requisitos em todos os ambientes.

Segundo a Tabela 16, para o nível C é necessário respeitar o critério de divisão de circuitos.

No hipermercado A, os circuitos de iluminação são comandados diretamente no painel de iluminação deste salão, em local de acesso restrito aos funcionários. Porém, o acionamento não está distribuído em áreas de controle conforme a orientação do item 0, mas sim em fileiras pares e ímpares. Desta forma este pré-requisito não é respeitado.

Portanto, adota-se Nível D.

H. Se existirem ambientes que não atendam aos pré-requisitos, deverá ser feita uma ponderação entre os níveis de eficiência e potência instalada dos ambientes que não atenderam aos pré-requisitos e a potência Instalada e o nível de eficiência encontrado para o sistema de iluminação.

Somente um ambiente foi avaliado.

A aplicação desta metodologia enquadrava o sistema de iluminação do hipermercado A como nível D. Analisando a Tabela 22, a potência instalada no sistema de iluminação enquadra o hipermercado A como nível C. Porém, para este sistema permanecer como nível C deve ser atendido o critério de divisão de circuitos, o qual não é respeitado, fazendo com que ele se enquadre no nível D. Para que este pré-requisito seja respeitado, deve-se subdividir o acionamento das luminárias de forma que cada acionamento seja responsável por acender parcelas com áreas máximas de 1000 m^2 , já que este ambiente possui área de 1689 m^2 . Deve-se também acrescentar ao painel de acionamento, alguma orientação que indique a divisão e o acionamento das luminárias. Para aumentar ainda mais o nível de classificação deste sistema, deve-se encontrar uma forma de reduzir o valor da potência instalada, buscando atender também os pré-requisitos impostos para cada nível.

A Figura 49 ilustra os dados das curvas de carga obtidas durante a segunda etapa de medição realizada em 2011, porém analisando os dados em função da densidade de potência com iluminação consumida ao longo do dia em Watts por metro quadrado. Neste gráfico também foram adicionados os limites impostos para cada um dos níveis de eficiência para a classe de edificações com função de comércio. Conforme já foi constatado anteriormente, pode-se ver que a densidade de potência instalada (P.INST) ficou enquadrada como nível C, pois $P.INST < \text{Nível C}$. No entanto, analisando-se os valores obtidos com medições, observa-se que os níveis de densidade de potência consumida ao longo do dia foram inferiores ao nível exigido pelo nível A, indicando uma eficiência real do sistema superior ao obtido quando analisando somente a potência instalada, como considerado pelo RTQ-C.

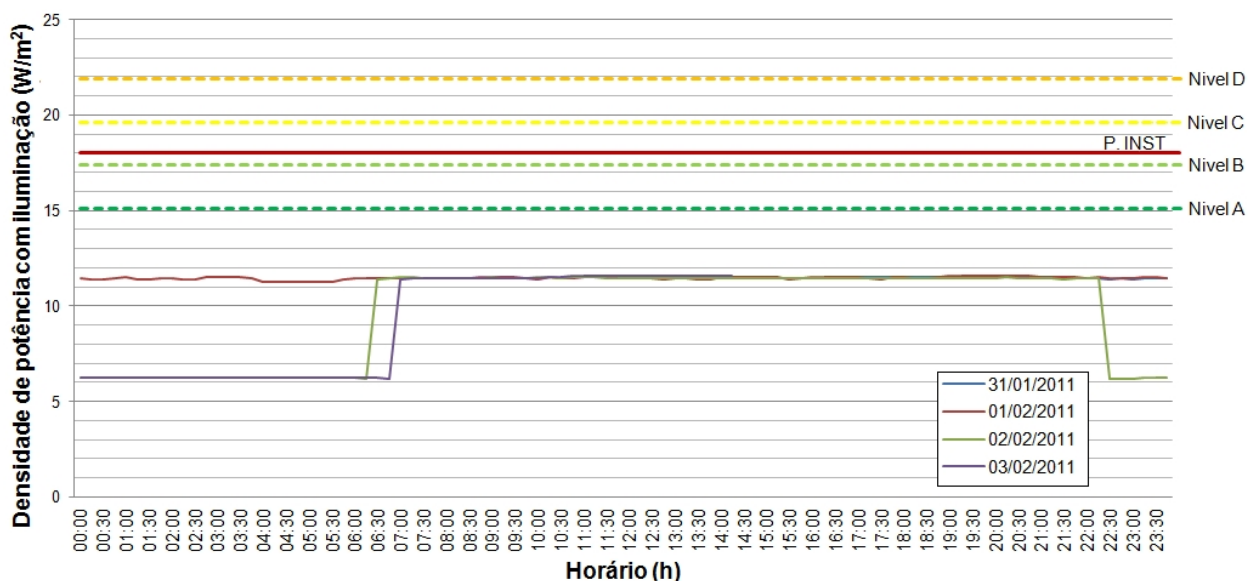


Figura 49 – Avaliação do sistema de iluminação utilizando dados da medição realizada em 2011.

5.3. Hipermercado B

5.3.1. Medição da distribuição de iluminação interna

Os resultados da primeira etapa das medições realizadas durante o período de julho e agosto de 2010 no hipermercado B encontram-se na Tabela 23. Os principais valores obtidos pelas medidas foram os valores de iluminância máximos e mínimos observados durante as medições e os valores médios calculados com base nos valores medidos. Maiores detalhes sobre cada medição individual pode ser encontrado no **Apêndice A**.

Durante a primeira etapa de medições realizadas, o valor médio da distribuição de iluminâncias durante o dia foi de 1.326 lux. Podem-se observar grandes variações nos valores médios das medidas realizadas em diferentes períodos do dia. Isto se justifica pelo fato do hipermercado possuir as aberturas zenitais como elementos que exploram a iluminação natural, contribuindo com o aumento nos níveis internos de

iluminação. Pode-se observar que o menor nível ocorreu na medida 3, durante o período noturno em que não existe contribuição da iluminação natural.

Tabela 23 – Primeira etapa de medição realizada no hipermercado B nos meses de julho e agosto de 2010.

Medida	Data	Horário	Mínimo (lux)	Maximo (lux)	Médio (lux)
1	30/07	09h00	396	3290	1619
2	30/07	14h00	355	2030	1088
3	30/07	20h00	328	1412	772
4	31/07	09h00	365	2900	1409
5	31/07	14h00	380	2400	1187
Média *	-	-	322	2890	1326
C. I. N. **	-	-	0	1700	553

* Média entre os valores diurnos das medidas 1,2,4 e 5

**C.I.N. = Contribuição da Iluminação Natural

Na primeira etapa de medições, o valor da distribuição média de iluminâncias durante o dia foi calculado considerando os valores das medidas diurnas (medidas 1, 2, 4 e 5). A curva isolux que representa esta distribuição encontra-se na Figura 50. Observando esta figura, pode-se ver a contribuição das aberturas zenitais nos níveis de iluminação interno ao hipermercado, formando regiões de grande claridade nas proximidades das aberturas, e criando uma distribuição de iluminação com grandes variações no nível de iluminação.

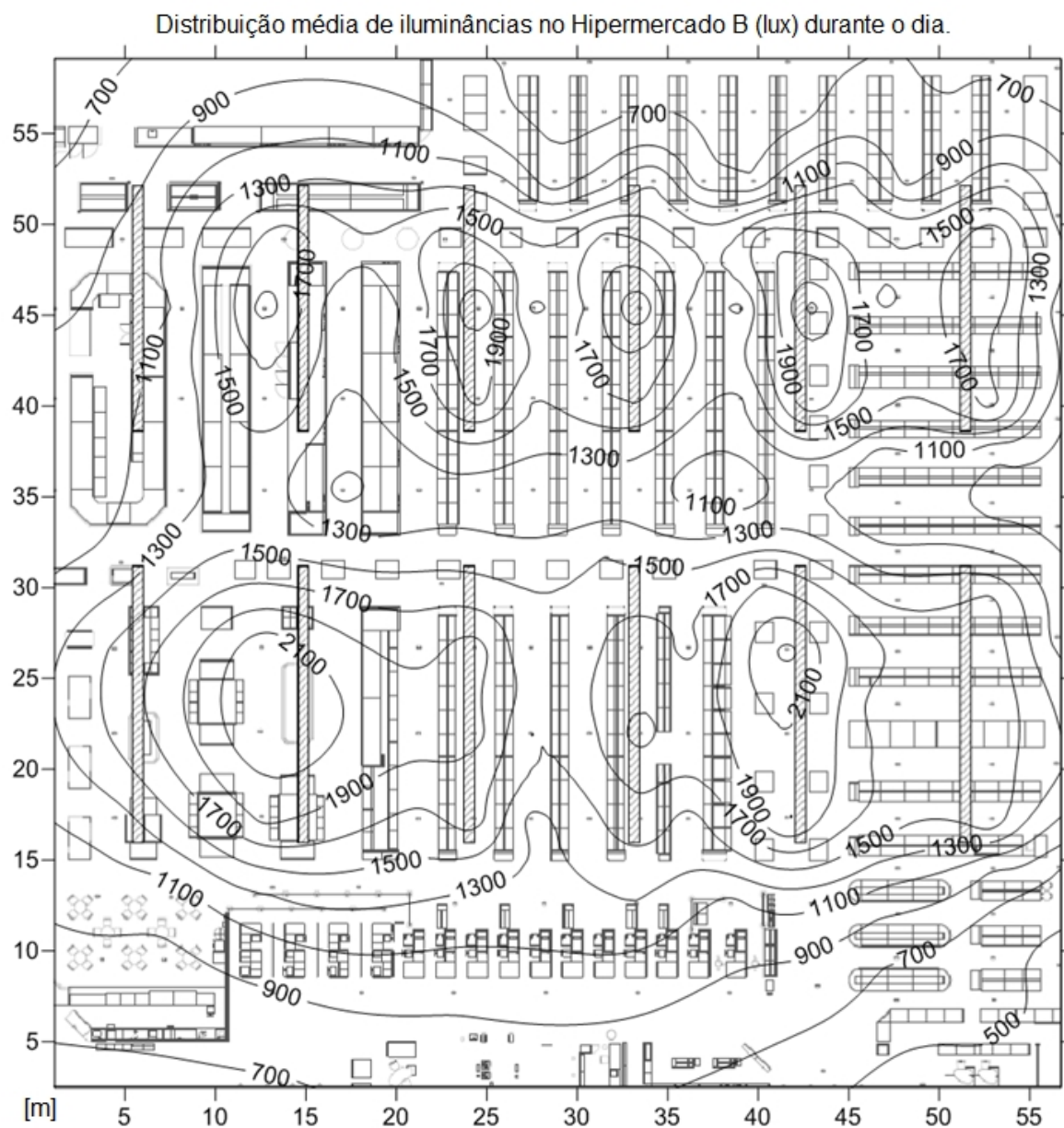


Figura 50 – Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias durante o dia no hipermercado B – primeira etapa das medidas realizadas entre julho e agosto de 2010.

O valor da distribuição média de iluminâncias durante a noite foi de 772 lux, e foi calculado utilizando os valores obtidos na medida 3. A curva isolux que representa esta distribuição encontra-se na Figura 51. Nesta figura, pode-se observar uma distribuição mais uniforme da iluminação, quando comparado com os níveis diurnos.

Distribuição média de iluminâncias no Hipermercado B (lux) durante a noite.

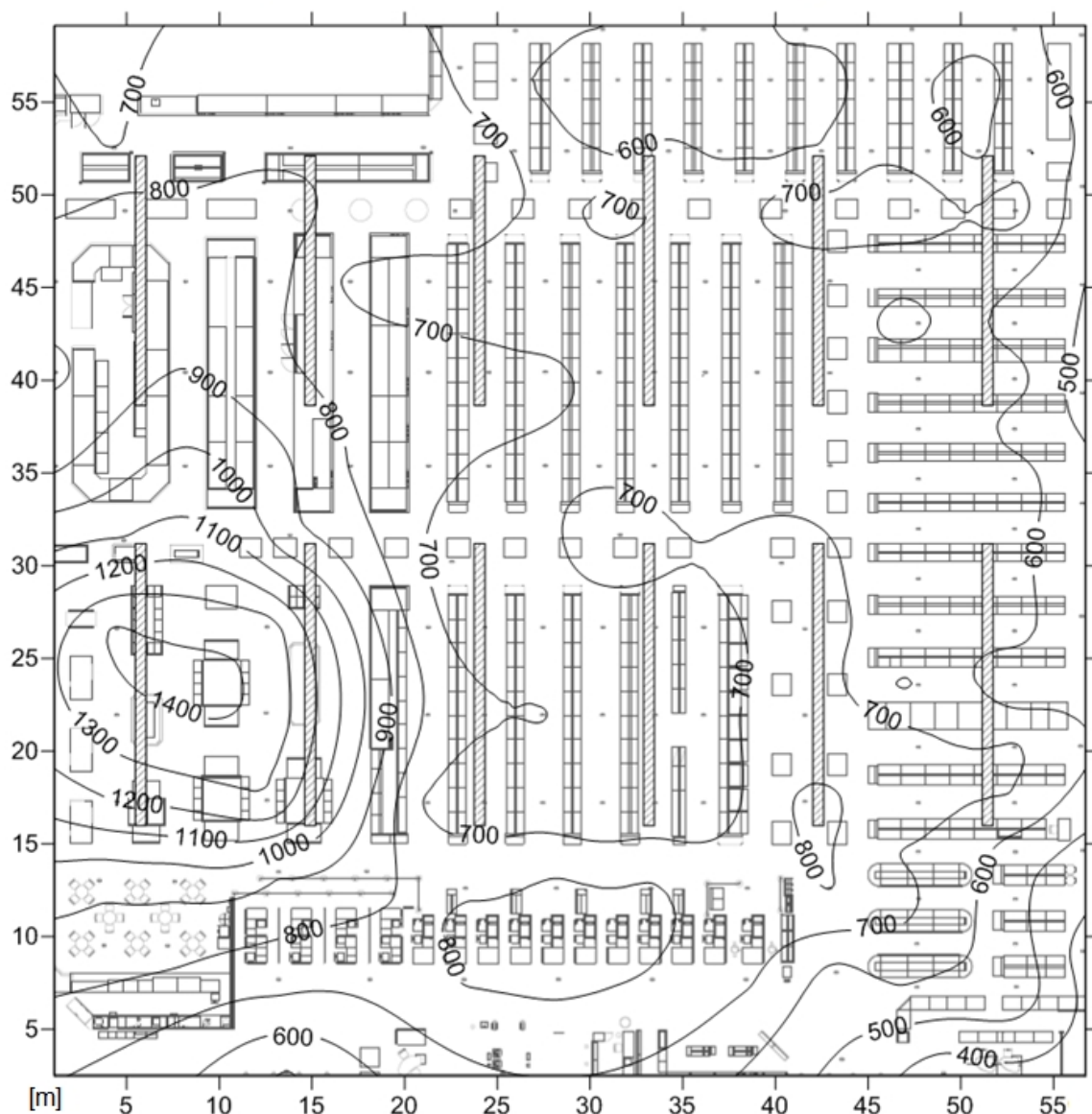


Figura 51 – Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias durante a noite no hipermercado B – primeira etapa das medidas realizadas entre julho e agosto de 2010.

Considerando que a distribuição média de iluminâncias durante o dia representa o nível diurno de iluminação, e que a distribuição média de iluminâncias durante a noite representa o nível noturno de iluminação, uma estimativa da contribuição da iluminação natural no interior do hipermercado pode ser obtida subtraindo pontualmente os níveis noturnos dos níveis diurnos. A Figura 52 ilustra a curva isolux obtida através desta estimativa.

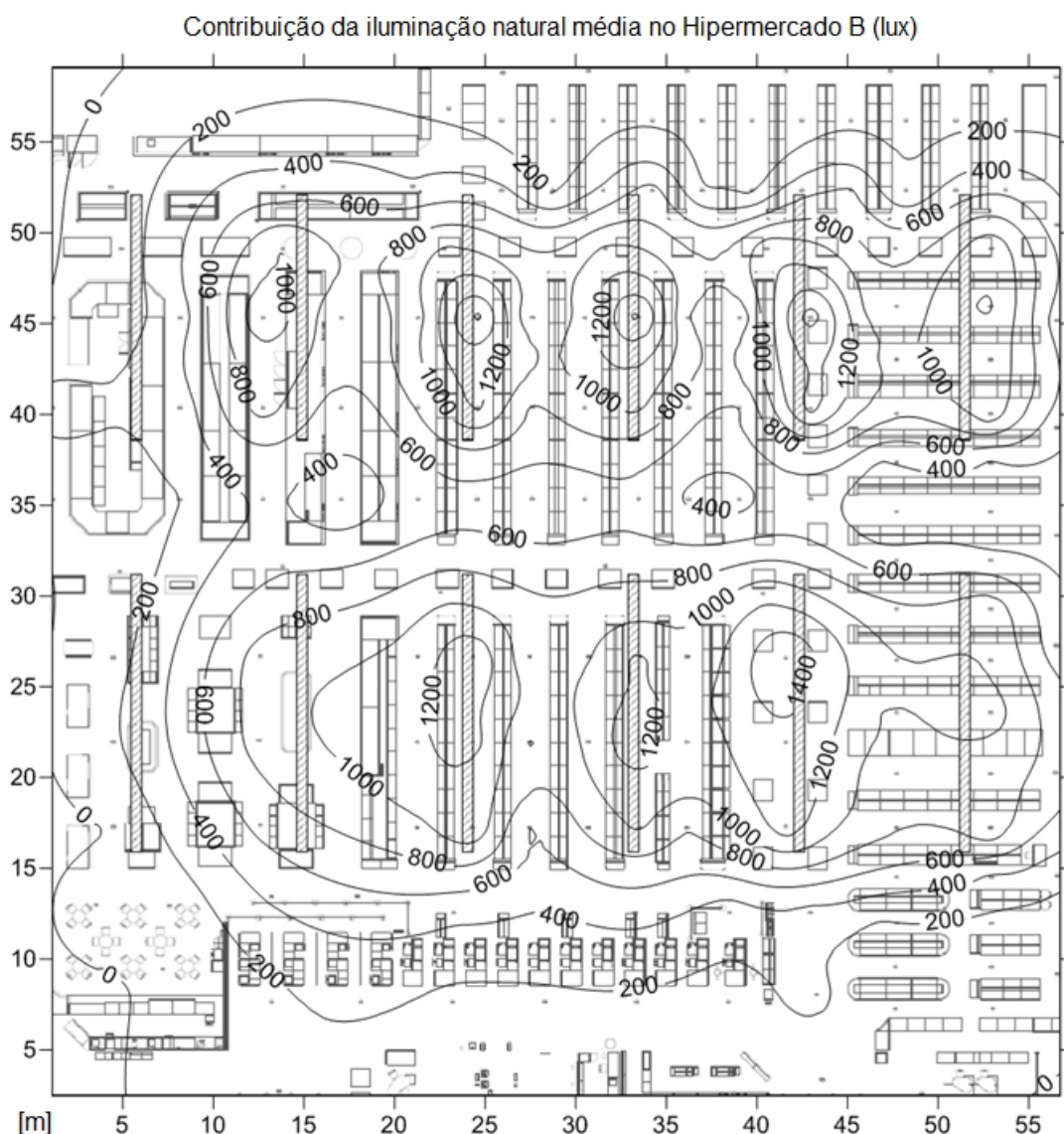


Figura 52 – Curva Isolux de iluminâncias no hipermercado B da contribuição média da iluminação natural - primeira etapa das medidas realizadas entre julho e agosto de 2010.

De acordo com esta estimativa, pode-se afirmar que as aberturas zenitais contribuíram com um nível médio de 553 lux, e que este nível representou 42% do valor médio da distribuição de iluminâncias durante o dia. Também pode-se afirmar que a iluminação artificial contribui com um nível médio de 772 lux, e que este nível representou 58% do valor médio da distribuição de iluminâncias durante o dia.

Os resultados obtidos com a segunda etapa das medidas realizadas durante o período de janeiro e fevereiro de 2011 no hipermercado B encontram-se na Tabela 24. Os principais valores obtidos foram os valores de iluminância máximos e mínimos

observados durante as medições e os valores médios calculados com base nos valores medidos. Maiores detalhes sobre cada medição individual pode ser encontrada no **Apêndice A**.

Tabela 24 – Segunda etapa de medição realizada no hipermercado B nos meses de janeiro e fevereiro de 2011.

Medida	Data	Horário	Mínimo (lux)	Máximo (lux)	Médio (lux)
1	26/01	09h00	371	3400	1488
2	26/01	15h00	360	2680	969
3	26/01	22h00	305	1410	740
4	27/01	09h00	355	3980	1797
5	27/01	15h00	337	3630	1613
Média*	-	-	367	3160	1467
C.I.N.**	-	-	0	2434	727

* Média entre os valores diurnos das medidas 1,2,4 e 5

**C.I.N. = Contribuição da Iluminação Natural

Durante a segunda etapa de medidas, o valor médio diurno da distribuição de iluminâncias foi de 1467 lux, 11% acima do nível obtido na etapa anterior. O menor nível também ocorreu no período noturno, durante a medida 3.

Na segunda etapa de medições, o valor da distribuição média diurna de iluminâncias foi calculado considerando os valores das medidas 1, 2, 4 e 5. A curva isolux que representa esta distribuição encontra-se na Figura 53. A contribuição das aberturas zenitais nos níveis de iluminação interna ao hipermercado são nítidas, assim como a grande variação nos níveis de iluminação neste ambiente.

O valor da distribuição média noturna de iluminâncias foi de 740 lux, e foi calculado utilizando os valores obtidos na medida 3. Este valor apresentou uma redução de 4,1% em relação ao obtido na etapa de medição anterior. A curva isolux que representa esta distribuição encontra-se na Figura 54, onde é possível observar uma distribuição mais uniforme da iluminação, quando comparado com os níveis diurnos.

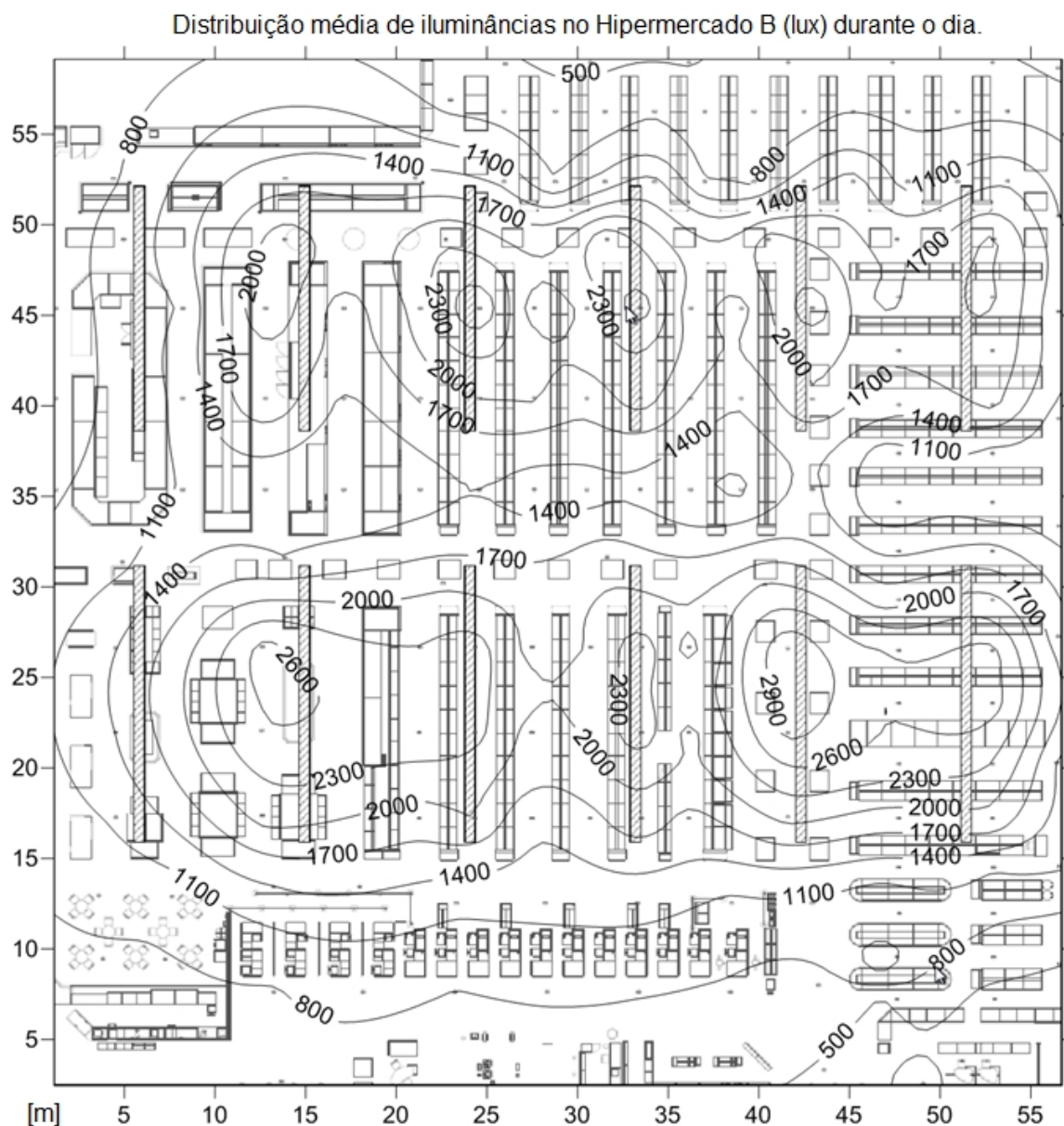


Figura 53 – Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias durante o dia no hipermercado B – segunda etapa das medidas realizadas entre janeiro e fevereiro de 2011.

De forma semelhante ao que foi feito na etapa anterior, realizou-se uma estimativa da contribuição da iluminação natural no interior do hipermercado. A Figura 55 ilustra a curva isolux obtida através desta estimativa.

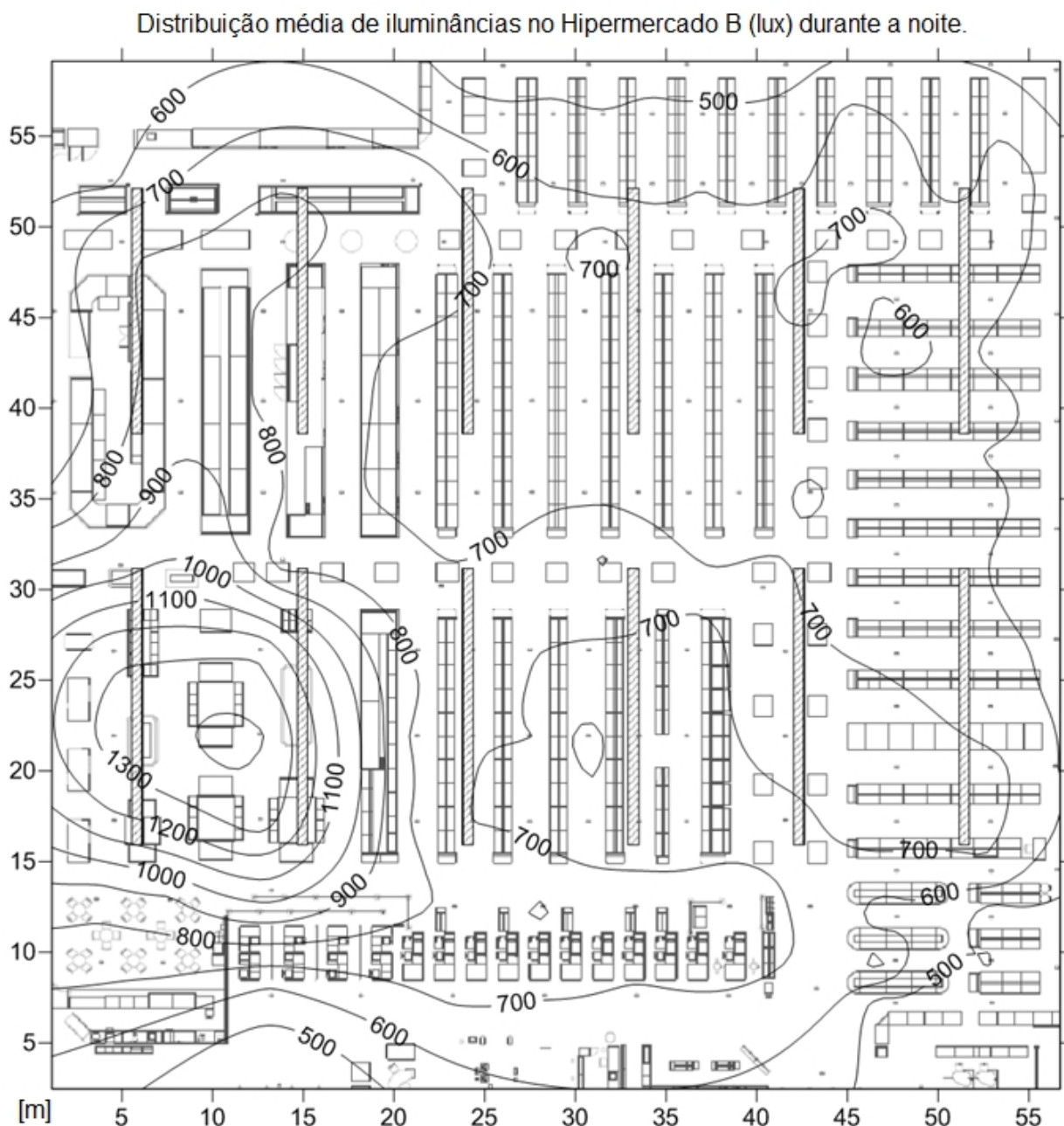


Figura 54 – Curva Isolux da distribuição média de iluminâncias durante a noite no hipermercado B – segunda etapa das medidas realizadas entre janeiro e fevereiro de 2011.

De acordo com esta estimativa, pode-se afirmar que as aberturas zenitais contribuíram com um nível médio de 727 lux, e que este nível representou 49,6% do valor médio da distribuição de iluminâncias durante o dia. Também pode se afirmar que a iluminação artificial contribui com um nível médio de 740 lux, e que este representou 50,4% do valor médio da distribuição de iluminâncias durante o dia.

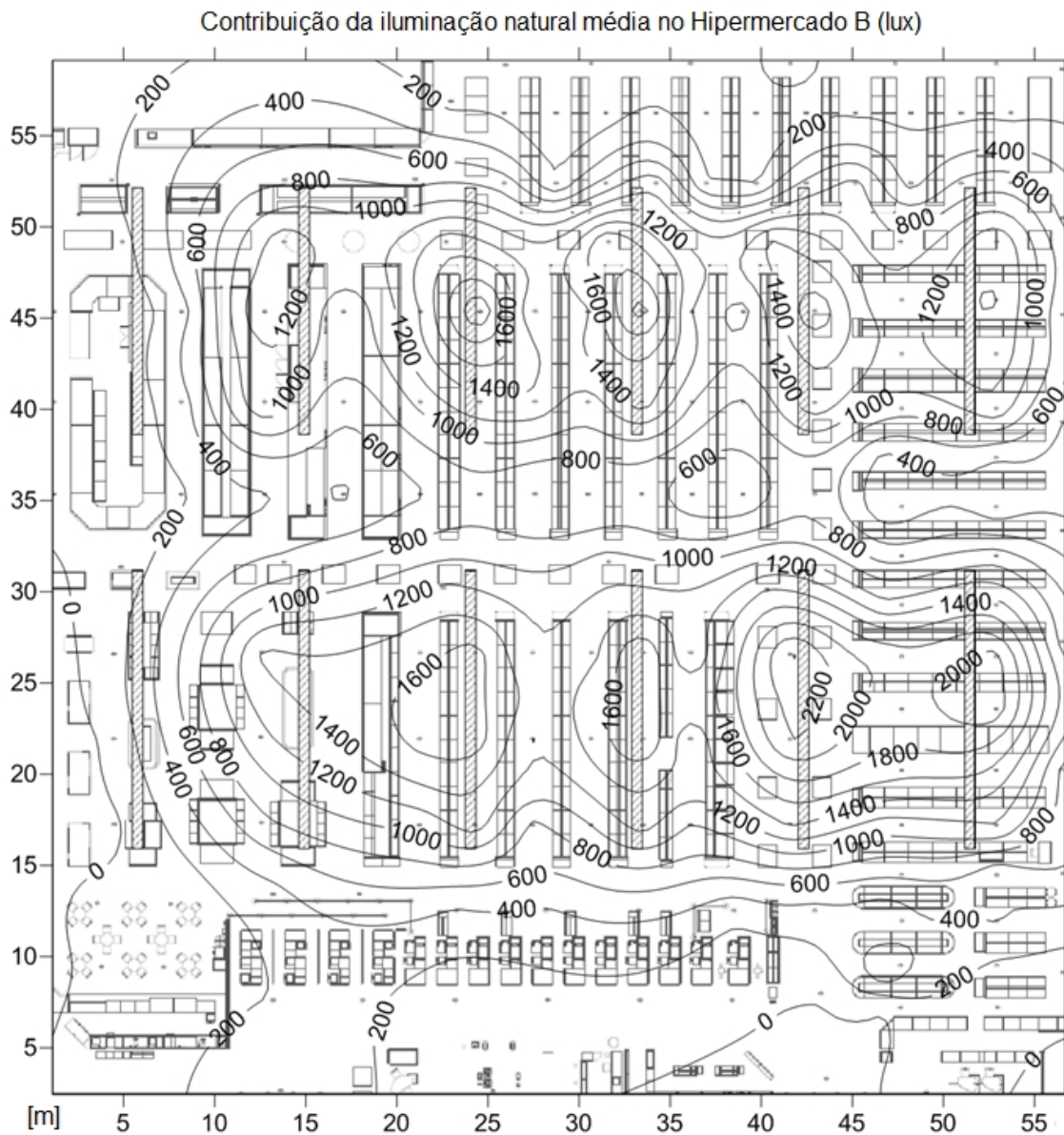


Figura 55– Curva Isolux de iluminâncias no hipermercado B da contribuição média da iluminação natural - segunda etapa das medidas realizadas entre janeiro e fevereiro de 2011.

Segundo os resultados das medições diurnas, pode-se observar que as aberturas zenitais fornecem uma grande quantidade de iluminação para o interior do ambiente do hipermercado B, quantidade esta que sofre variações consideráveis ao longo do dia e de forma aleatória, pois depende das condições climáticas do local onde se situa a edificação. Desta forma, em uma manhã ensolarada, o nível médio de iluminação interna será maior que o de uma tarde nublada, com tempo fechado e chuvoso. Situação esta que ocorreu durante as medidas 1 e 2, em que a manhã do dia

26 de janeiro apresentou um nível médio de iluminação de 1488 lux, enquanto este mesmo nível durante a tarde foi de 969 lux. Esta variação da ordem de 35% ocorreu no mesmo dia, ilustrando, como fotografias ilustram uma cena animada, que os níveis de iluminação variam continuamente ao longo do dia.

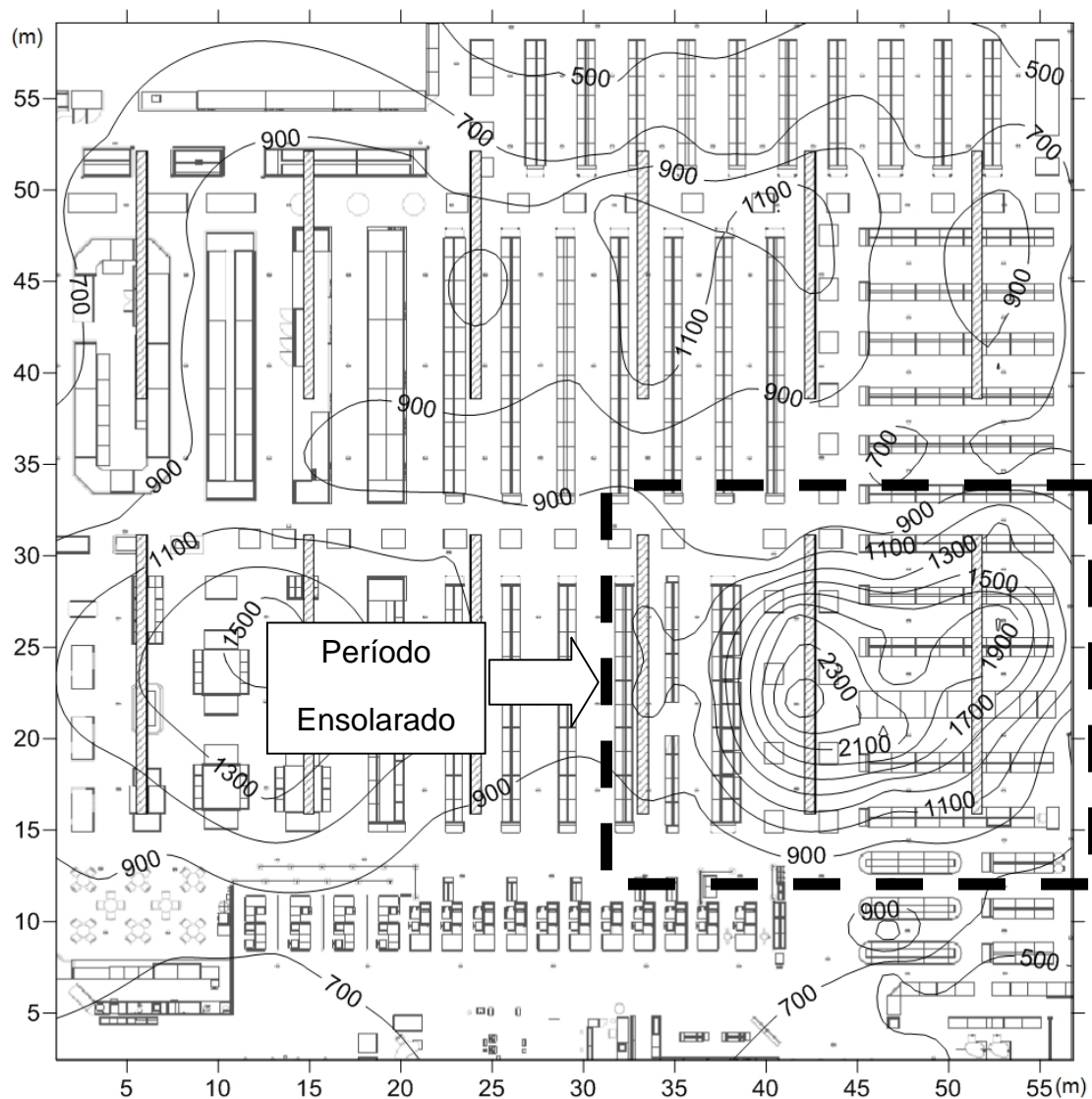


Figura 56 – Curva Isolux de iluminâncias no hipermercado B que ilustra a variação brusca no nível da iluminação interna durante a medida do dia 26/01/2011.

Esta variação no nível de iluminação interna ocorreu durante a segunda medida, ilustrada na Figura 56, que se iniciou às 15h00. Como as medidas tiveram duração de uma hora, aproximadamente às 15h20 houve uma alteração nas condições climáticas e o dia ensolarado se tornou um dia nublado e chuvoso que assim

permaneceu até o final da tarde. Com isso, os valores das primeiras medidas, que ocorreram enquanto o dia estava ensolarado, ilustradas pelo retângulo pontilhado na Figura 56, foram maiores que o resto das medidas que ocorreram com clima característico de dia nublado e chuvoso. Com exceção desta medida, as outras ocorreram em períodos em que o nível de iluminação se apresentou praticamente constante.

5.3.2. Medição do consumo de energia elétrica

A primeira etapa das medições do consumo de energia elétrica no sistema de iluminação do hipermercado B foi realizada entre os dias 29 de julho a 01 de agosto de 2010, e apesar de terem sido realizadas em quatro dias, foram monitorados três dias ininterruptos de consumo de energia. A Figura 57 ilustra a curva de carga obtida neste período em que os analisadores foram instalados.

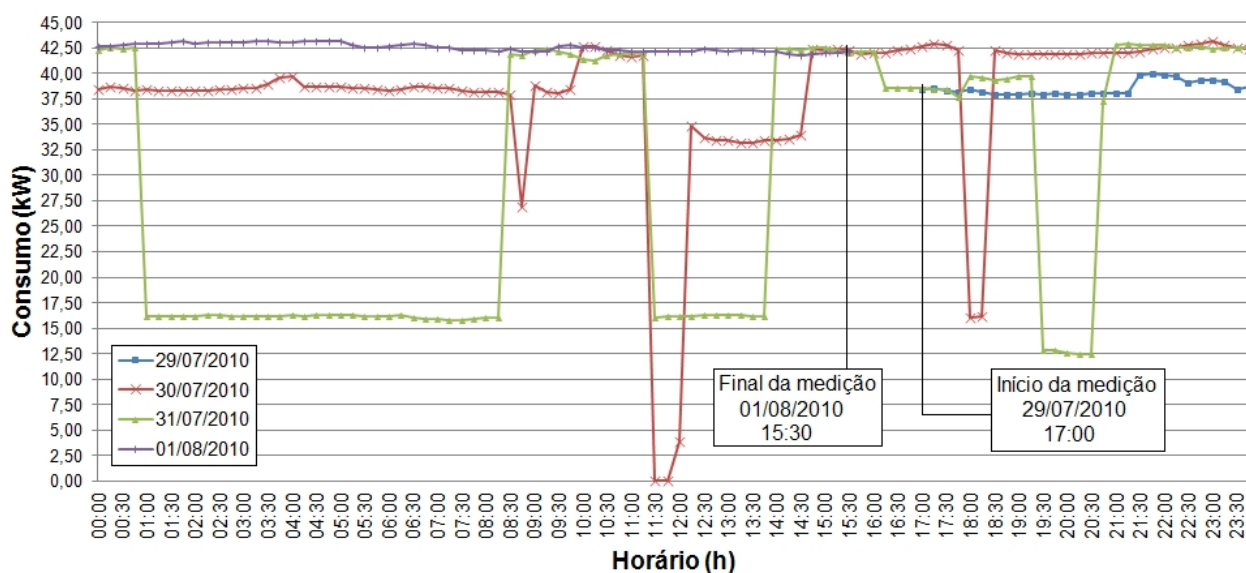


Figura 57 – Curva de Carga do sistema de iluminação artificial no hipermercado B – primeira etapa de medidas.

A variação do consumo do sistema de iluminação pode ser vista nas quatro curvas traçadas, obtidas para cada dia de monitoração, sendo a curva azul para o dia 29, vermelha para o dia 30, verde para o dia 31 e roxa para o dia 01, conforme ilustra a

Figura 57. Pode-se observar que a medição foi iniciada no dia 29 por volta das 17h00 e permaneceu até o dia 01, aproximadamente às 15h30. Durante o período das medições, a equipe de manutenção relatou a existência de problemas nas instalações elétricas, que estavam subdimensionadas para os circuitos de iluminação. Inicialmente, o sistema de iluminação artificial do hipermercado B era constituído por luminárias LED, que apresentaram uma redução acentuada no nível de iluminação e tiveram que ser substituídas.

Nessa substituição, as luminárias LED foram trocadas pelo atual sistema de iluminação constituído por luminárias com lâmpadas fluorescentes, o qual ocasionou um aumento na potência instalada. Este aumento provocou constantes sobrecargas nos dispositivos de proteção, disparando o acionamento térmico dos disjuntores. Este comportamento pode ser visto na Figura 57, onde constantes variações nas curvas de carga podem ser observadas. Estas variações possuem duas causas: a primeira seria devido as constantes sobrecargas que o aumento na potência instalada causou aos circuitos de iluminação, tendo acionado os disjuntores que cortaram a alimentação da iluminação, causando a redução na potência consumida; a segunda causa seria a rotina adotada pela equipe de manutenção, que desliga parte da iluminação nos horários mais ensolarados, principalmente na hora do almoço. Esta rotina é realizada baseada no bom-senso da equipe que desliga a iluminação diretamente nos disjuntores, quando considerado conveniente.

A Figura 58 ilustra os dispositivos de proteção e comando dos circuitos de iluminação do salão de vendas do hipermercado B, que estão concentrados em dois barramentos, o **H** e o **I**. Cada barramento possui um contator que aciona o seu respectivo barramento, que é protegido por um disjuntor geral. Cada circuito terminal possui seu disjuntor, que alimenta diretamente os reatores e lâmpadas do salão de vendas. Na Figura 58, pode-se ver que alguns disjuntores encontram-se desligados, o que também explica o comportamento observado na curva de carga da Figura 57.

Neste período, observou-se que o único patamar em que o consumo permanece praticamente constante foi o de 43 kW, que representa o sistema artificial

integralmente ligado. Outra observação importante é que o hipermercado B inicia suas atividades às 8h00 e encerra às 23h00. Desta forma, esperava-se que durante o período em que o hipermercado encerrasse as suas atividades, o consumo de energia para o sistema de iluminação fosse drasticamente reduzido, o que não ocorreu. A Figura 57 mostra que os níveis de consumo de energia permanecem praticamente constantes desde as 23h00 até as 8h00, sugerindo que o sistema de iluminação permanece plenamente ligado durante a madrugada sem que o hipermercado esteja operando. As informações das medidas ilustradas na Figura 57 podem ser examinadas em maiores detalhes no **Apêndice C**.

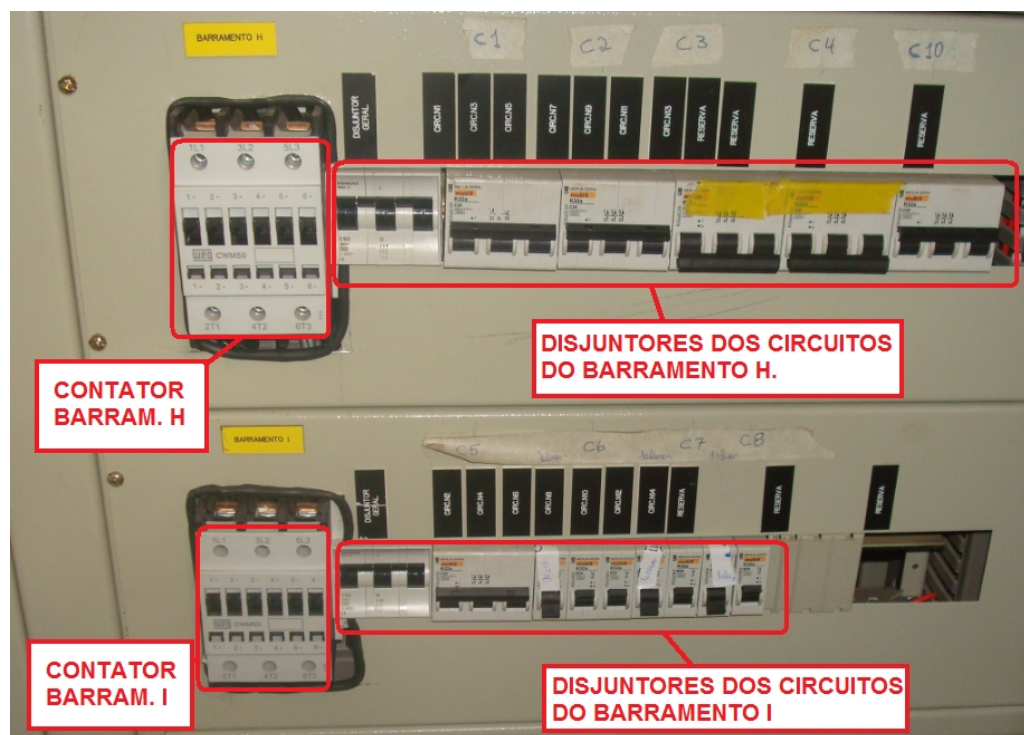


Figura 58 – Dispositivos de proteção e comando dos circuitos de iluminação do salão de vendas no hipermercado B.

Com base nos valores obtidos para a curva de carga do hipermercado B, foram calculados os valores do consumo de energia ao longo das horas do dia, que podem ser vistos na

. Estes valores indicam qual foi o consumo de energia elétrica do sistema de iluminação durante cada hora do dia. Pode-se ver que no primeiro dia, considerando que a medição se iniciou às 17h00, foram consumidos 269,82 kWh, seguindo de 909,63

kWh e 704,47 kWh para o segundo e terceiro dia, cujas medidas foram realizadas ao longo de todo o dia, e de 659,34 kWh para o quarto dia, cuja medida terminou às 16h00.

Tabela 25 – Levantamento do Consumo de no hipermercado B – segunda etapa de medidas.

Dia	29/07/2010	30/07/2010	31/07/2010	01/08/2010
Hora	Consumo (kWh)			
00h00 às 01h00	-	38,51	35,93	42,80
01h00 às 02h00	-	38,34	16,17	43,01
02h00 às 03h00	-	38,44	16,19	43,04
03h00 às 04h00	-	39,22	16,21	43,09
04h00 às 05h00	-	38,67	16,23	43,14
05h00 às 06h00	-	38,47	16,19	42,64
06h00 às 07h00	-	38,59	16,01	42,78
07h00 às 08h00	-	38,31	15,91	42,33
08h00 às 09h00	-	35,45	35,49	42,22
09h00 às 10h00	-	39,35	41,97	42,51
10h00 às 11h00	-	42,07	41,70	42,28
11h00 às 12h00	-	11,41	22,60	42,09
12h00 às 13h00	-	33,85	16,25	42,26
13h00 às 14h00	-	33,34	22,77	42,19
14h00 às 15h00	-	38,06	42,42	41,93
15h00 às 16h00	-	42,13	42,16	21,05
16h00 às 17h00	-	42,31	38,53	-
17h00 às 18h00	38,35	36,02	38,53	-
18h00 às 19h00	38,04	35,59	39,51	-
19h00 às 20h00	37,97	41,91	19,48	-
20h00 às 21h00	37,98	41,96	26,28	-
21h00 às 22h00	39,45	42,30	42,83	-
22h00 às 23h00	39,35	42,85	42,56	-
23h00 às 00h00	38,67	42,49	42,54	-
TOTAL	269,82	909,63	704,47	659,34

Nos três dias em que foram realizadas estas medições, o sistema de iluminação artificial do hipermercado B consumiu um total de 2.543,25 kWh, que em média representa um consumo diário de 847,75 kWh.

A Figura 59 ilustra o consumo diário obtido durante as medições, onde cada barra colorida representa o consumo de energia em kWh de cada dia de medição naquele horário específico. Devido aos problemas que já foram citados anteriormente, observou-se variações consideráveis nos níveis de consumo de energia.

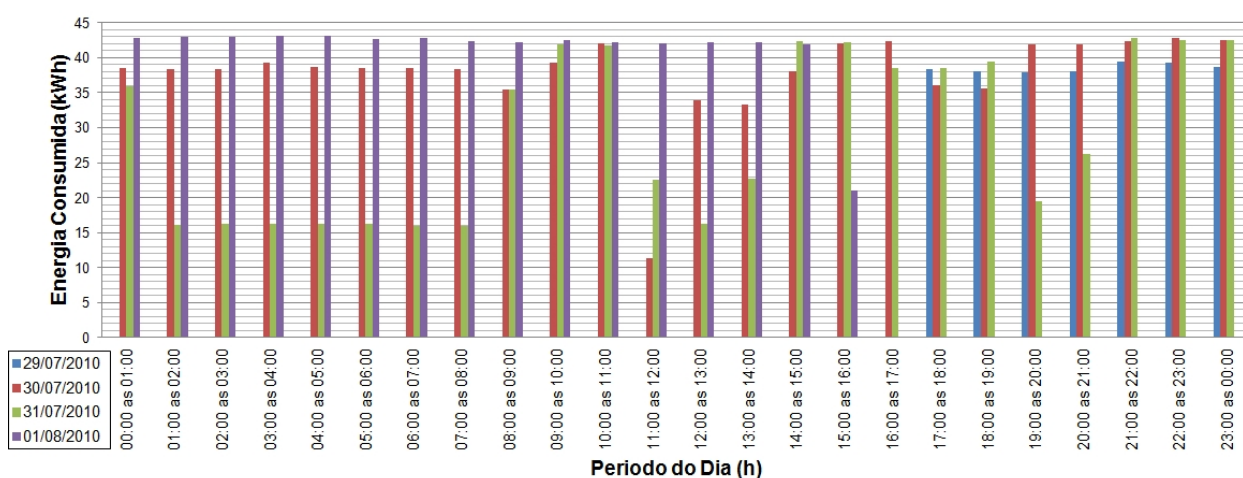


Figura 59 – Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado B – primeira etapa de medidas.

A segunda etapa das medições do consumo de energia elétrica no sistema de iluminação do hipermercado B foi realizada entre os dias 25 a 28 de janeiro de 2011, e apesar de terem sido realizadas em quatro dias, foram monitorados três dias ininterruptos de consumo de energia. A Figura 60 ilustra a curva de carga obtida neste período em que os analisadores foram instalados.

A variação do consumo no sistema de iluminação pode ser vista nas quatro curvas traçadas, obtidas para cada dia de monitoração, sendo a curva azul para o dia 25, vermelha para o dia 26, verde para o dia 27 e roxa para o dia 28, conforme ilustra a Figura 60. Pode-se observar que a medição foi iniciada no dia 25 por volta das 15h00 e permaneceu até o dia 28 em torno de 17h00. Neste período, ao contrário da primeira etapa, não houve grandes variações nas curvas de carga, sendo que esta permaneceu próxima a um patamar de 39 kW. De acordo com a equipe de manutenção, os

problemas que estavam ocasionando a sobrecarga nos dispositivos de proteção observados na etapa de medições anteriores foram corrigidos. Com exceção do ocorrido no dia 27 por volta das 20h30, em que houve o disparo dos dispositivos de proteção, que foram ocasionados por oscilações causadas durante a saída do gerador utilizado para suprir as necessidades energéticas do hipermercado no horário de ponta, na qual a energia elétrica é mais cara e esta manobra torna-se viável. Foi observado que o sistema de iluminação novamente permaneceu ligado durante o período das 23h00 às 8h00 em que o hipermercado estaria com suas atividades encerradas. As informações das medidas ilustradas na Figura 60 podem ser examinadas em maiores detalhes no **Apêndice C**.

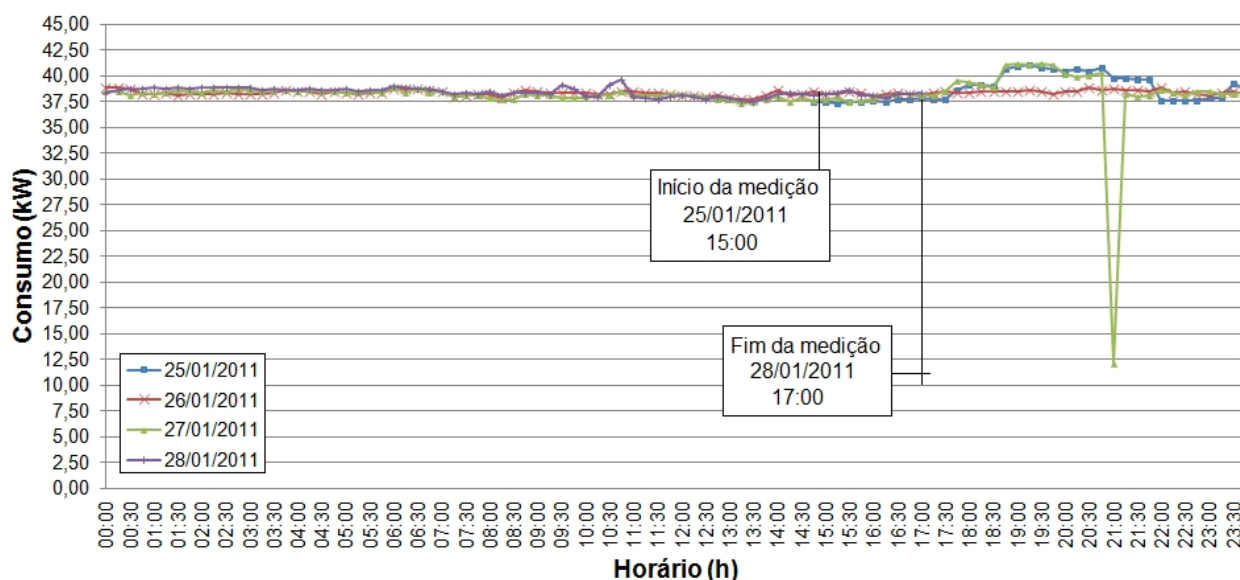


Figura 60 – Curva de Carga do sistema de iluminação artificial no hipermercado B – segunda etapa de medidas.

Com base nos valores obtidos para a curva de carga do hipermercado B, foram calculados os valores do consumo de energia ao longo das horas do dia, que podem ser vistos na Tabela 26. Estes valores indicam qual foi o consumo de energia elétrica do sistema de iluminação durante cada hora do dia. Pode-se ver que no primeiro dia, considerando que a medição se iniciou às 15h00, foram consumidos 349,90 kWh, seguindo de 920,18 kWh e 916,04 kWh para o segundo e terceiro dia, cujas medidas foram realizadas ao longo de todo o dia, e de 653,19 kWh para o quarto dia, cuja medida terminou às 17h00.

Tabela 26 – Levantamento do Consumo de energia ao longo das horas do dia no hipermercado B – segunda etapa de medidas.

	25/01/2011	26/01/2011	27/01/2011	28/01/2011
Hora	Consumo(kWh)			
00h00 às 01h00	-	38,49	38,27	38,76
01h00 às 02h00	-	38,19	38,44	38,81
02h00 às 03h00	-	38,24	38,58	38,90
03h00 às 04h00	-	38,44	38,54	38,65
04h00 às 05h00	-	38,41	38,45	38,70
05h00 às 06h00	-	38,41	38,50	38,69
06h00 às 07h00	-	38,60	38,49	38,70
07h00 às 08h00	-	38,11	38,02	38,32
08h00 às 09h00	-	38,33	37,92	38,27
09h00 às 10h00	-	38,34	37,92	38,47
10h00 às 11h00	-	38,36	38,18	38,66
11h00 às 12h00	-	38,27	38,16	37,89
12h00 às 13h00	-	37,97	37,88	37,89
13h00 às 14h00	-	38,02	37,60	37,81
14h00 às 15h00	-	38,23	37,63	38,22
15h00 às 16h00	37,45	38,25	37,65	38,28
16h00 às 17h00	37,68	38,23	38,12	38,17
17h00 às 18h00	38,27	38,37	38,85	-
18h00 às 19h00	39,91	38,49	40,05	-
19h00 às 20h00	40,74	38,45	40,84	-
20h00 às 21h00	40,41	38,65	33,06	-
21h00 às 22h00	39,15	38,64	38,23	-
22h00 às 23h00	37,61	38,31	38,35	-
23h00 às 00h00	38,68	38,37	38,31	-
TOTAL	349,90	920,18	916,04	653,19

Nos três dias em que foram realizadas estas medições, o sistema de iluminação artificial do hipermercado B consumiu um total de 2.839,31 kWh, que em média representa um consumo diário de 946,43 kWh.

A Figura 61 ilustra o consumo diário obtido durante as medições, onde cada barra colorida representa o consumo de energia em kWh de cada dia de medição naquele horário específico. Pode-se ver que o consumo do sistema de iluminação demonstrou ser praticamente constante ao longo das horas do dia, tendo um patamar de consumo médio de 39 kWh por hora de funcionamento.

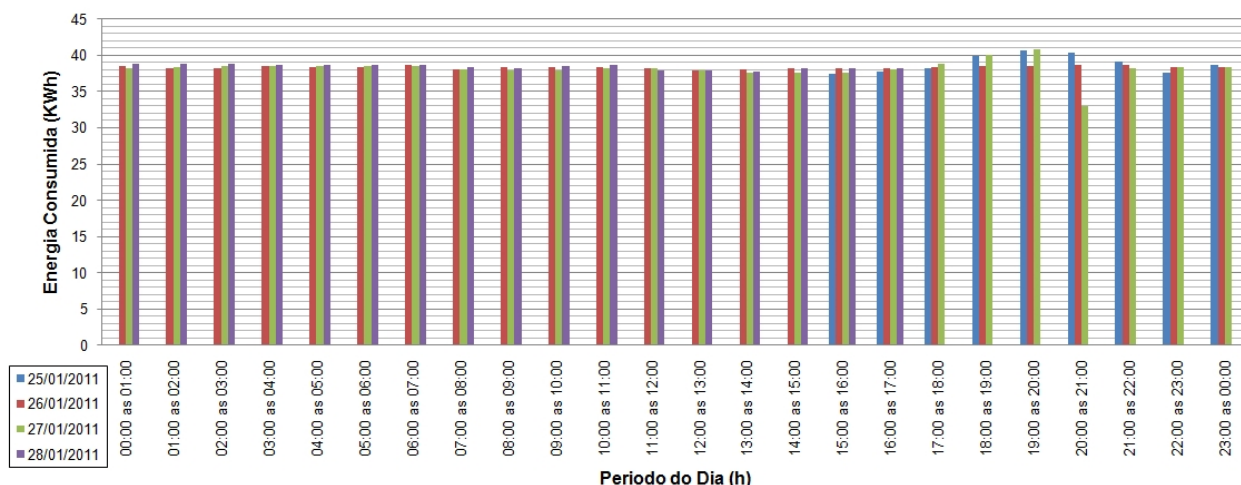


Figura 61 – Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado B – segunda etapa de medidas.

5.3.3. Avaliação utilizando os critérios do PROCEL Edifica

Para avaliar o sistema de iluminação do salão principal de vendas do hipermercado B utilizando os critérios do PROCEL Edifica, foi utilizada a metodologia da área do edifício, conforme já descrita no item 4.10.4. Desta forma, tem-se:

- Identificar a atividade principal do edifício, de acordo com a
- Tabela 17, e a densidade de potência de iluminação limite (DPI_L – W/m^2) para cada nível de eficiência.

Atividade principal do edifício: Comércio

DPI_L (W/m^2):

Nível A: 15,1

Nível B: 17,4

Nível C: 19,6

Nível D: 21,9

C. Determinar a área iluminada do edifício.

Área iluminada do Salão (m^2): 2463,3

D. Multiplicar a área iluminada pela DPI_L , para encontrar a potência limite do edifício.

Potência limite do salão (W):

Nível A: 37.195,8

Nível B: 42.861,4

Nível C: 48.280,7

Nível D: 53.946,3

E. Quando o edifício for caracterizado por até três atividades principais, determina-se a densidade de potência de iluminação limite para cada atividade e a área iluminada para cada uma. A potência limite para o edifício será a soma das potências limites para cada atividade.

Atividade principal: Comércio

F. Comparar a potência total instalada no edifício e a potência limite para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação.

Potência instalada no salão(W): 58.280

58,3 kW (P. Inst.) > 53,9 kW (Nível D)

Portanto, adota-se Nível D.

Tabela 27 – Avaliação do sistema de iluminação do hipermercado A pelos critérios do PROCEL EDIFICA.

Função do edifício	DPI _L (W/m ²)			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Área (m ²)	Potência limite (W)			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
2463,3	37.195,8	42.861,4	48.280,7	53.946,3

G. Após determinar o nível de eficiência alcançado pelo edifício, deve-se verificar o atendimento dos pré-requisitos em todos os ambientes.

Somente pela potência instalada com iluminação, o hipermercado já é classificado como nível D. Desta forma, mesmo se ele atender algum dos pré-requisitos continuará como nível D.

Portanto, adota-se Nível D.

H. Se existirem ambientes que não atendam aos pré-requisitos, deverá ser feita uma ponderação entre os níveis de eficiência e potência instalada dos ambientes que não atenderam aos pré-requisitos; e a potência Instalada e o nível de eficiência encontrado para o sistema de iluminação.

Somente um ambiente avaliado.

A aplicação desta metodologia enquadrar o sistema de iluminação do hipermercado B como nível D, pois sua potência instalada com iluminação é superior ao estabelecido para o nível D.

A Figura 62 ilustra os dados das curvas de carga obtidas durante a segunda etapa de medição realizada em 2011, porém analisando os dados da densidade de

potência com iluminação em função do consumo ao longo do dia em Watts por metro quadrado. Neste gráfico também foram adicionados os limites impostos para cada um dos níveis de eficiência para a classe de edificações com função de comércio. Conforme já foi constatado anteriormente, pode-se ver que a densidade de potência instalada (P.INST) ficou enquadrada como nível D, pois $P.INST > \text{Nível D}$. Porém, analisando-se os valores obtidos com medições, observa-se que os níveis de densidade de potência consumida ao longo do dia foram inferiores ao nível exigido pelo nível B, indicando uma eficiência real do sistema superior ao obtido quando analisando somente a potência instalada, como considerado pelo RTQ-C.

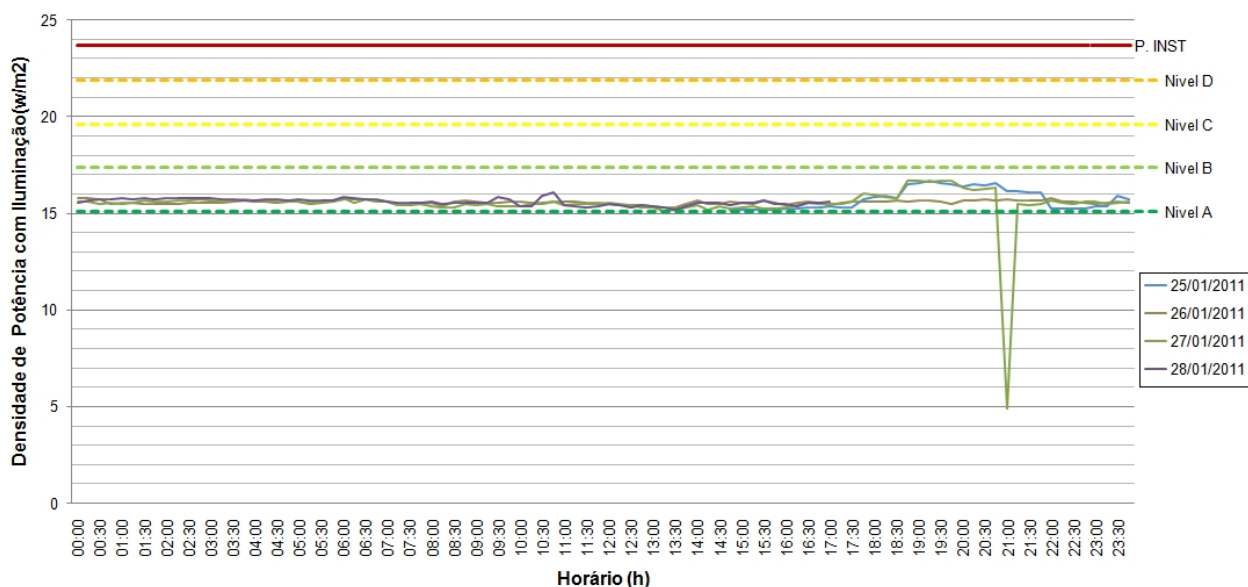


Figura 62 – Avaliação do sistema de iluminação utilizando dados da medição realizada em 2011.

5.4. Comparação entre os hipermercados A e B

Os resultados de maior relevância para realizar a comparação entre os hipermercados A e B, foram obtidos nas etapas de medições já descritas anteriormente neste capítulo e encontram-se detalhados na Tabela 28. A descrição dos parâmetros utilizados foi feita no item 4.9.

Conforme esperado, o hipermercado B apresentou um nível médio de iluminâncias superior ao hipermercado A, devido basicamente a suas aberturas zenitais. Isto pode ser observado, pois no período noturno, os níveis médios apresentaram valores próximos, indicando que o sistema de iluminação artificial de ambos os hipermercados fornecem praticamente os mesmos níveis de iluminação. No período diurno, o hipermercado B apresentou níveis médios de iluminância de 1,60 e 1,99 vezes aos observados no hipermercado A durante a primeira e segunda etapa de medidas respectivamente. De acordo com as estimativas realizadas, a participação da iluminação natural foi de 41,7% e 49,6% dos níveis médios observados na primeira e segunda etapa de medidas respectivamente. Estes valores dependem diretamente das condições climáticas no período das medições. Desta forma, em dias nublados esta participação é inferior aos dias ensolarados. A ideia desta estimativa é saber em quanto a iluminação natural pode contribuir para o nível médio de iluminação interno ao hipermercado.

Com relação ao consumo de energia, a potência máxima de consumo no hipermercado B foi praticamente igual a 2,10 vezes ao do hipermercado A em ambas as medidas. A potência média de consumo no hipermercado B foi 2,09 e 2,32 vezes ao observado no hipermercado A na primeira e segunda etapa de medidas respectivamente. Como a potência média de consumo e o consumo diário médio foram obtidos em função do consumo total, estas mesmas proporções são mantidas, sendo que tanto o consumo diário médio e o consumo total do hipermercado B foram de 2,09 e 2,32 vezes ao do hipermercado A na primeira e segunda etapa de medidas respectivamente. Desta forma, foi verificado que o consumo de energia com iluminação

artificial no hipermercado B foi maior que duas vezes o consumo do hipermercado A. Este fato pode ser justificado devido ao hipermercado B apresentar um salão de vendas cuja área é 1,46 vezes maior a do hipermercado A e cuja potência instalada com iluminação é 1,89 vezes maior.

Tabela 28 – Resultados das medições realizadas nos hipermercados A e B.

Tabela 28 - Resultados das medições realizadas nos hipermercados A e B.				
Hipermercado	A		B	
Medições	Jul/2010	Jan/2011	Jul/2010	Jan/2011
1) Levantamentos realizados				
Potência instalada [kW]	30,47		58,28	
Área do salão de vendas [m²]	1689,10		2463,30	
Características das luminárias	Refletor Metálico		Refletor Branco	
Relação Lumens por Watt [lm/W]	80,90		87,10	
Altura das luminárias [m]	4,42		4,00	
2) Níveis médios de iluminâncias [lux]				
Diurno	828,0	736,0	1326,0	1467,0
Noturno	843,0	752,0	772,0	740,0
Contribuição da Iluminação Natural	-		553,0	727,0
3) Consumo de Energia				
Consumo total [kWh]	1212,61	1219,44	2543,25	2839,31
Potência máxima de consumo [kW]	20,14	19,55	42,10	41,14
Potência média de consumo [kW]	16,84	16,94	35,32	39,43
Consumo diário médio [kWh]	404,20	406,48	847,75	946,43
Potência instalada por área [W/m²]	18,04	18,04	23,66	23,66
Consumo médio por área [W/m²]	9,97	10,03	14,34	16,01

O conjunto de lâmpadas e reatores do hipermercado B é mais eficiente quando comparado ao do hipermercado A, pois apresenta uma maior relação de lumens por Watt, apesar de apresentar um menor fator de potência e uma maior taxa de distorção harmônica. Em termos de altura, as luminárias do hipermercado B estão localizadas a uma altura inferior às luminárias do hipermercado A. Porém, as luminárias utilizadas no hipermercado B são menos eficientes que as do hipermercado A, pois possuem refletores brancos ao invés de metálicos. Isto leva a necessidade de uma maior quantidade de lâmpadas para manter a mesma distribuição de iluminâncias, mesmo estando instaladas a uma menor altura, o que implica em uma maior potência instalada com iluminação.

Desta forma, observa-se que a densidade de potência instalada no hipermercado B é de $23,66 \text{ W/m}^2$, enquanto que a do hipermercado A é de $18,04$, ou seja, $1,31$ vezes maior. Com relação ao consumo médio por área, os valores obtidos para o hipermercado B foram $1,43$ e $1,59$ vezes maiores que os obtidos para o hipermercado A. Assim, a Tabela 29 mostra os detalhes do conjunto luminária-lâmpada-reator de cada hipermercado, com os detalhes técnicos de seus elementos.

Com relação ao consumo total, o hipermercado A apresentou uma pequena variação entre a primeira e a segunda medida. Já o hipermercado B, apresentou uma diferença de $296,1 \text{ kWh}$ entre a segunda e a primeira medida. Esta diferença tem como causa a ocorrência de alguns problemas nas instalações elétricas observados durante a primeira etapa de medidas que ocasionou uma redução no consumo de energia nesta etapa e também devido ao sistema de iluminação ter permanecido ligado durante praticamente todas as noites da segunda etapa de medidas, conforme já mencionado no item 5.3.2. Observa-se que o uso de um simples sistema de automação controlado por horário, de forma a ligar e desligar parte de iluminação em horários pré-definidos, podem resultar em reduções significativas no consumo de energia em ambos os hipermercados.

Tabela 29 – Detalhes do conjunto Luminária-Lâmpada-Reator de cada hipermercado.

Hipermercado A	Hipermercado B
	
Luminárias	
Refletor Metálico sem aletas	Refletor Branco sem aletas
Lâmpadas	
OSRAM LUMILUX T5 HO FQ Potencia(W): 54 Temperatura de cor(K): 4.000 Fluxo Luminoso(lm): 4.450 Índice de Reprodução de Cor: 80-89	OSRAM LUMILUX T8 FO Potencia(W): 32 Temperatura de cor(K): 4.000 Fluxo Luminoso(lm): 2.700 Índice de Reprodução de Cor: 80-89
Reator	
PHILIPS EL258A26 Fator de Potencias: 0.99 Taxa de Distorção Harmônica: <5%	OSRAM FLUORTRONIC AFP Fator de Potencia: 0.96 Taxa de Distorção Harmônica: 20%
Conjunto Lâmpada – Luminária – Reator	
Lâmpadas por reator: 2 Potencia do Conjunto (W): 110 Fluxo Luminoso do conjunto (lm): 8.900 Relação Lumens/Watt: 80,9	Lâmpadas por reator: 2 Potencia do Conjunto (W): 62 Fluxo Luminoso do conjunto (lm): 5.400 Relação Lumens/Watt: 87,1

5.5. Fatores que influenciam a distribuição da iluminação interna

Os hipermercados são ambientes extremamente dinâmicos e por operarem praticamente todos os dias do ano, incluindo finais de semana e feriados, não existe a possibilidade da realização de medidas sem que ele esteja funcionando normalmente. Desta forma, todas as medições foram realizadas em horário normal de funcionamento, e neste período, vários fatores que influenciam a distribuição da iluminação interna foram identificados.

Inicialmente, devido ao fato de a iluminação permanecer ligada nas mesmas condições ao longo do dia, esperava-se obter níveis de distribuição de iluminâncias homogêneos ao longo do dia. Porém, as curvas isolux obtidas com as medições mostram que existem variações entre praticamente todas as medidas. A causa destas variações é atribuída à existência de obstáculos, às cores das prateleiras e seus produtos, à altura e à distância entre as prateleiras, ao desligamento parcial da iluminação e ao bloqueio das aberturas zenitais. Cada uma destas causas será discutida a seguir.

5.5.1.Existência de obstáculos

A existência de obstáculos como pilares, televisões, placas de sinalização ou anúncios de propaganda de produtos, causam o bloqueio da luz emitida pelas luminárias, conforme ilustrado na Figura 63. Esta figura também ilustra um dos pontos de medição, que coincidentemente ficou exatamente embaixo de uma televisão que bloqueava parte da iluminação; e com isso o nível de iluminância neste ponto se apresentou um pouco menor do que os outros pontos vizinhos, fato este que reflete a situação real da distribuição de iluminação encontrada.



Figura 63 – A existência de obstáculos que bloqueiam a luz emitida pelas luminárias.

Esta figura também ilustra uma situação que ocorreu durante uma das medições, que foi a adição de um anúncio de promoção pelos funcionários do hipermercado. Desta forma, o ponto que estiver abaixo deste anúncio irá apresentar uma redução no nível de iluminação, causando diferenças entre as medidas que forem realizadas antes e depois deste evento. E isto também reflete a situação real da distribuição de iluminação neste ambiente dinâmico.

5.5.2. Cores das prateleiras e embalagens de seus produtos

As cores das prateleiras e das embalagens dos produtos que estão nestas prateleiras também influenciam o nível de iluminação nos corredores. Desta forma, corredores que possuem em suas prateleiras produtos com embalagens mais claras, como papel higiênico e papel toalha, apresentaram maiores níveis de iluminação no plano de trabalho do que corredores que continham produtos com embalagens mais escuras, como pneus de carro ou bebidas, como refrigerantes e vinhos. Isso ocorre devido à alteração das refletâncias das “paredes” do corredor, impactando diretamente no nível de iluminação no plano de trabalho.



Figura 64 – As cores dos produtos e das prateleiras impactando o nível de iluminação no corredor.

5.5.3. Altura e distância entre as prateleiras

Em corredores em que as prateleiras são mais baixas, uma maior quantidade de iluminação penetra no corredor, o que ocasiona um maior nível de iluminação interno. O oposto ocorre em corredores onde as prateleiras são mais altas. Corredores onde a distância entre as prateleiras são maiores, permitem a entrada de uma maior quantidade de iluminação, enquanto corredores onde estas distâncias são menores, uma menor quantidade de iluminação é permitida no corredor.



Figura 65 - Altura e Distância das prateleiras.

5.5.4.Desligamento parcial da iluminação

Para reduzir o consumo de energia no hipermercado A, que opera 24 horas por dia, foi criada uma rotina para desligar parte da iluminação no período noturno, que vai das 23h00 até as 8h00 da manhã. Esta rotina fica a cargo da equipe de manutenção, que a executa manualmente de segunda a sexta, período em que eles ficam no hipermercado. A

Figura 66 ilustra o sistema de iluminação artificial do hipermercado A durante o seu desligamento parcial.



Figura 66 – Sistema de iluminação parcialmente desligado durante a madrugada.

As medições nos níveis de iluminação e de consumo de energia realizadas indicam que, com esta medida, o nível de consumo do sistema de iluminação cai praticamente pela metade, de 20 kW para 10 kW. Isto ocasiona uma redução no consumo de 10 kWh por cada hora em que o sistema fica parcialmente desligado. Com relação ao nível de iluminância interno, estes valores chegaram a 274 e 234 lux para a primeira e segunda etapa consecutivamente, indicando reduções acima de 65% para ambos os casos. Estes valores estão indicados na Tabela 30. De acordo com o item 5.3.58 da NBR5413, ambientes internos de lojas de artigos diversos devem ter um nível de iluminância mínimo de 500 lux. Desta forma, pode-se afirmar que o nível médio de iluminância interno ao hipermercado A satisfaz as condições desta norma, porém durante o desligamento parcial do sistema de iluminação os níveis médios encontram-se inferiores aos níveis mínimos estabelecidos por ela.

Tabela 30 – Níveis de iluminância observados durante o desligamento parcial do sistema de iluminação artificial.

Medida	Níveis de iluminância (lux)		Redução (%)
	Médio	Sistema Parcialmente desligado	
Primeira	828	274	66,9
Segunda	736	234	68,2

5.5.5. Bloqueio das aberturas zenitais na seção de Hortifrúti

A Figura 67 ilustra a estimativa da distribuição de iluminação natural no hipermercado B obtida na primeira etapa de medições, na qual podem ser vistas as contribuições de cada abertura zenital para o nível de iluminação no ambiente interno do hipermercado. Dentre as doze aberturas zenitais existentes, duas apresentam uma contribuição muito inferior aos das outras. O retângulo pontilhado na Figura 67 ilustra a

região que apresentou o nível de contribuição de iluminação natural reduzido. Esta é a seção do hortifrúti e coincide exatamente com as aberturas zenitais bloqueadas.

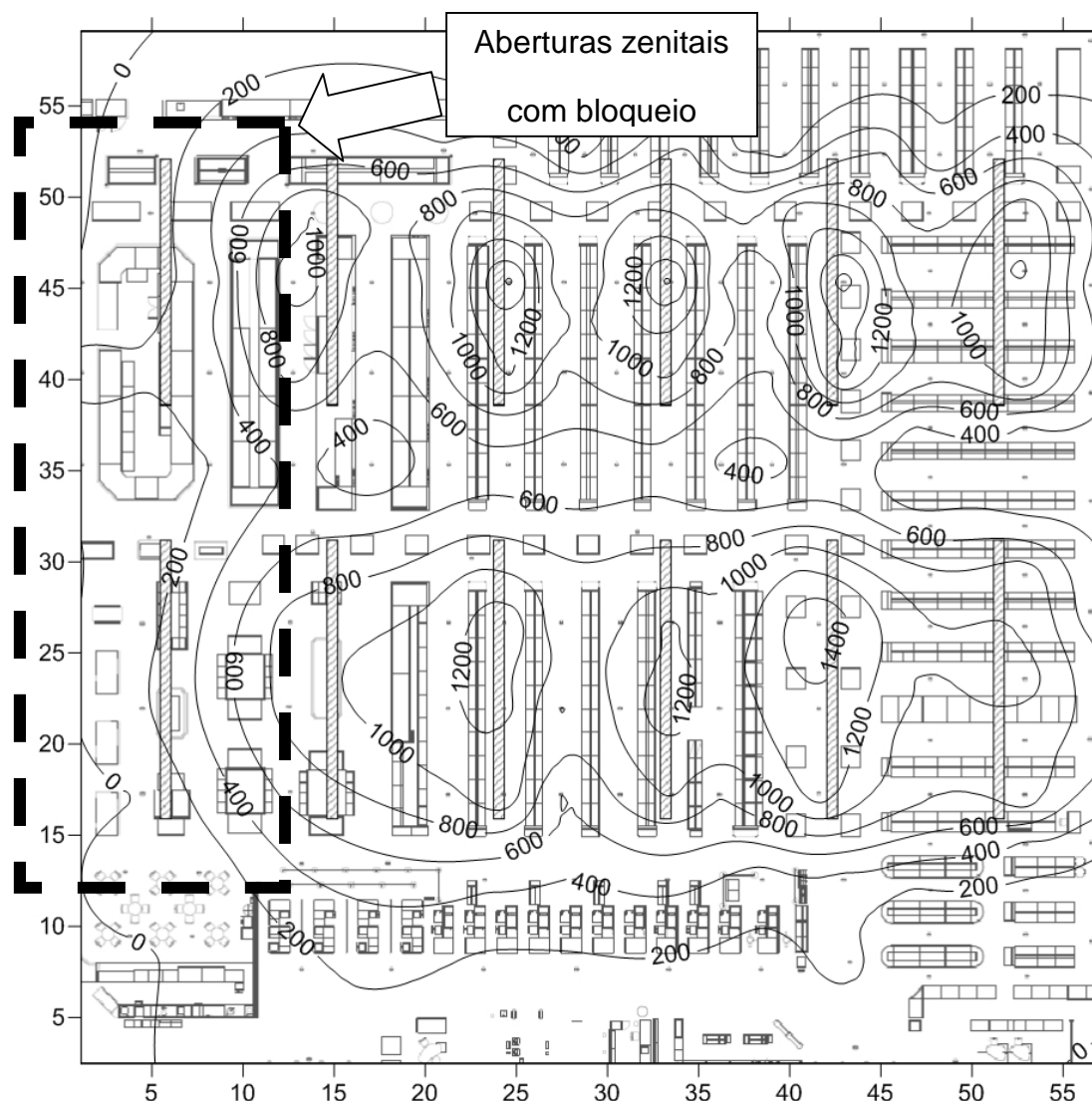


Figura 67 – Curva Isolux de iluminâncias no hipermercado B da contribuição média da iluminação natural durante a primeira etapa das medidas, ilustrando o bloqueio das aberturas zenitais pelo retângulo tracejado.

A Figura 68 ilustra as aberturas zenitais que apresentam bloqueio para a entrada de iluminação natural. De acordo com a equipe de manutenção estes bloqueios foram criados com a adição de uma tela na superfície da abertura, a qual bloqueia a entrada de iluminação natural. No início das operações do hipermercado, os alimentos que estavam nesta região tiveram níveis de degradação mais acelerados que o normal,

e a causa desta degradação foi atribuída à radiação solar. Devido a este motivo, foram instalados os bloqueios nestas duas aberturas, que podem ser vistos nos resultados das medições de iluminação realizados.



Figura 68 – Aberturas zenitais com bloqueio.

5.6. Sugestões para aumentar o nível de eficiência energética

Diante de toda informação apresentada neste trabalho, serão discutidas algumas ações que podem ser tomadas para melhorar a eficiência energética do sistema de iluminação de cada hipermercado estudado.

5.6.1. Hipermercado A

O conjunto de luminárias, lâmpadas e reatores utilizados no sistema de iluminação artificial do hipermercado A apresentam um bom desempenho nos aspectos luminotécnicos e energéticos. Acredita-se que, alterando-se as fileiras de luminárias de forma que estas fiquem paralelas aos corredores, e reduzindo a distância entre as luminárias e o plano de trabalho, seria possível reduzir os atuais $18,04 \text{ W/m}^2$ de densidade de potência instalada com iluminação para um valor inferior aos $17,04 \text{ W/m}^2$ exigidos pelos critérios do PROCEL Edifica para que este sistema de iluminação se

enquadre como nível B, reduzindo conseqüentemente o consumo de energia e mantendo o mesmo nível interno de iluminação. Com relação ao desligamento parcial do sistema de iluminação no período das 23h00 às 8h00, acredita-se que o uso de um sistema automatizado traria grandes reduções no consumo de energia, pois os acionamentos ocorreriam precisamente no mesmo horário todos os dias, incluindo nos finais de semana, que atualmente não ocorrem devido a ausência da equipe de manutenção neste período da semana.

5.6.2.Hipermercado B

Este hipermercado apresenta um grande potencial a ser explorado para aumentar a eficiência energética. Primeiramente, o conjunto de lâmpadas e reatores utilizados no sistema de iluminação artificial do hipermercado B apresenta um bom desempenho nos aspectos luminotécnicos e energéticos, porém as luminárias utilizadas apresentam baixa eficiência no direcionamento da iluminação para as atividades de trabalho.

Desta forma, aconselha-se a troca das atuais luminárias com refletores brancos por luminárias com refletores metálicos. Esta troca implicaria em um maior aproveitamento da luminosidade produzida pelas lâmpadas, refletindo na redução da quantidade de luminárias necessárias para garantir o mesmo nível de iluminação interno ao hipermercado. Conseqüentemente, esta modificação causaria uma redução na potência instalada e no consumo de energia despendido pelo sistema de iluminação artificial. Adicionalmente a esta troca, o uso de um sistema de automação que fosse capaz de comandar a iluminação artificial de acordo com duas funcionalidades principais: desligar o sistema de iluminação nos períodos em que o hipermercado não tivesse funcionando; e desligar algumas luminárias nas proximidades das aberturas zenitais em períodos diurnos, onde existisse uma grande quantidade de iluminação natural disponível.

Implementando estas sugestões citadas anteriormente, acredita-se que o consumo de energia com iluminação poderia ser reduzido em mais de 50% do que foi verificado nas medições realizadas.

6. Conclusões

O levantamento do mercado consumidor de energia no estado do Mato Grosso do Sul mostrou que os setores residencial e comercial são os que apresentam maior participação no consumo de energia no estado, de forma diferente aos outros estados em que o setor industrial é o responsável pela maior participação no consumo. Esta característica pode ser justificada pelo fato de a região Centro-Oeste possuir um nível de industrialização menor quando comparado com as outras regiões do país, o que justifica uma maior atenção aos conceitos de eficiência energética aplicados às edificações comerciais e residenciais.

As medições dos níveis de iluminação dos hipermercados mostraram que no hipermercado A, estes níveis apresentaram pequenas variações ao longo dos períodos do dia, devido ao fato de o edifício possuir apenas iluminação artificial que permanece ligada de forma homogênea praticamente ao longo de todo o dia. Os níveis médios observados na primeira e segunda etapa das medidas foram de 828 e 736 lux respectivamente. Uma redução de 11% foi observada e como causas que podem ter influenciado esta redução foram identificadas: a redução natural da iluminação nas lâmpadas após seis meses de operação; a falta de manutenção e possível acúmulo de sujeira sobre as lâmpadas e luminárias; e as alterações ocorridas no interior do hipermercado como mudança de produtos, prateleiras e adição de *banners* internos utilizados para propaganda e oferta.

Também foi observado que, no período das 23h00 às 7h00 aproximadamente, a equipe de manutenção do hipermercado desliga parte do sistema de iluminação manualmente com o intuito de reduzir o consumo de energia, pois neste período o fluxo de pessoas é reduzido e estas estão acostumadas com menores níveis de iluminação proporcionada pelo ambiente noturno. Esta manobra ocasiona uma redução nos níveis médios internos de iluminação, atingindo níveis de 274 e 234 lux durante a primeira e segunda etapa de medidas. Em ambos os casos, estes níveis foram inferiores aos 500 lux exigidos pelo item 5.3.58 da NBR5413.

No hipermercado B, foram observadas grandes variações nos níveis de iluminação internos ao longo do dia, devido ao fato de o edifício possuir doze aberturas zenitais que permitem a entrada de grandes quantidades de iluminação natural em seu interior ao longo do dia de forma aleatória, dependendo das condições climáticas. Os níveis médios observados na primeira e segunda etapa das medidas foram de 1.326 e 1.467 lux durante o dia, o que representa 1,60 e 2,00 vezes os valores observados no hipermercado A. Durante o período noturno, estes níveis foram de 772 e 740 lux, o que representa 0,93 e 1,00 vezes os valores observados no hipermercado A.

Desta forma, os níveis médios de iluminação noturnos são semelhantes, enquanto que os níveis médios diurnos podem chegar a ser duas vezes maiores no hipermercado que possui iluminação natural. As estimativas realizadas mostram que as aberturas zenitais contribuíram com um nível médio adicional de 553 e 727 lux, que representam uma participação percentual de 42,0% e 49,6% nestes níveis médios durante a primeira e segunda etapa de medidas respectivamente. Vale ressaltar que esta participação percentual é somente uma estimativa, uma vez que estes valores mudam constantemente ao longo do dia de acordo com os fatores climáticos. Mesmo assim, esta estimativa é importante para ilustrar o potencial da iluminação natural em fornecer um nível médio adicional de 727 lux, correspondendo a quase 50% do nível diurno, e que é superior aos 500 lux exigidos pela NBR5413.

As medições do consumo de energia elétrica possibilitaram levantar as curvas de carga dos sistemas de iluminação artificial de ambos os hipermercados, que refletem os hábitos de uso deste sistema e permite quantificar o total de energia que foi gasto e o quanto seria possível poupar. No hipermercado A, verificou-se um comportamento condizente com a sua operação de 24 horas por dia, sendo que o sistema de iluminação artificial é parcialmente desligado pela equipe de manutenção entre o período das 23h00 às 7h00. Desta forma, foram observados dois patamares em que o consumo de energia permanece praticamente constante: 20 kW quando o sistema está integralmente ligado; e 10kW quando o sistema está parcialmente desligado. Também foi observado que os acionamentos realizados pela equipe de manutenção nem sempre ocorreram nos horários pré-definidos, entre as 7h00 e 23h00, de forma que foram

observados acionamentos às 6h00, às 8h00, assim como às 00h00 e houve até mesmo dias em que o sistema simplesmente permaneceu ligado durante toda a noite.

Outro detalhe importante é que devido a ausência da equipe de manutenção nos finais de semana, este procedimento ocorre somente durante a semana. Desta forma, o consumo com iluminação permanece fixo em 20 kW de sexta a domingo, ocasionando um consumo adicional de energia. Durante os três dias ininterruptos em que foram realizadas as medições, o sistema de iluminação artificial do hipermercado A consumiu um total de 1.212,61 e 1.219,44 kWh, que em média representa um consumo diário de 404,20 e 406,48 kWh na primeira e segunda etapa de medidas respectivamente.

No hipermercado B, cujo horário de funcionamento é das 8h00 às 23h00 , observou-se um patamar de consumo praticamente constante e próximo a 40 kW. Algumas variações foram observadas devido a rotina adotada pela equipe de manutenção que desligam parte da iluminação nos horários mais ensolarados baseados no bom-senso da equipe, que desligam a iluminação diretamente nos disjuntores quando acham conveniente. Devido ao horário de funcionamento deste hipermercado, esperava-se que no período das 23h00 às 8h00 o sistema de iluminação fosse praticamente desligado, o que não ocorreu em nenhum dos dias em que foram feitas as medições.

Desta forma, o sistema permaneceu integralmente ligado durante toda a madrugada, consumindo energia de forma desnecessária. Durante os três dias ininterruptos em que foram realizadas as medições, o sistema de iluminação artificial do hipermercado B consumiu um total de 2.543,25 e 2.839,31 kWh, que em média representa um consumo diário de 847,75 e 946,43 kWh na primeira e segunda etapa de medidas respectivamente. Desta forma, foi verificado que o consumo de energia no hipermercado B foi maior que duas vezes ao observado no hipermercado A. Este fato pode ser justificado devido ao hipermercado B apresentar um salão de vendas cuja área é 1,46 vezes maior a do hipermercado A e cuja potência instalada é 1,89 vezes maior.

Foi observado que o conjunto de lâmpadas e reatores do hipermercado B é mais eficiente quando comparado as do hipermercado A, pois apresentam uma maior relação de lumens por watt, apesar de apresentar um menor fator de potência e uma maior taxa de distorção harmônica. Apesar disso, as luminárias utilizadas no hipermercado B são menos eficientes que as do hipermercado A, pois possuem refletores brancos em vez de metálico, levando a necessidade de uma maior quantidade de lâmpadas para manter a mesma distribuição de iluminâncias. Devido a este fato, o hipermercado B apresentou uma densidade de potência de $23,66 \text{ W/m}^2$ contra $18,04 \text{ W/m}^2$ do hipermercado A.

A aplicação da metodologia estabelecida pelo RTQ-C do PROCEL Edifica enquadrou o sistema de iluminação do hipermercado A como nível D. Observando apenas a potência instalada no sistema de iluminação, seria possível enquadrar o sistema como nível C, porém como não foi atendido o critério de divisão de circuitos, este acabou sendo enquadrado como nível D. O hipermercado B alcançou a mesma classificação pela metodologia do PROCEL, tendo ficado com nível D.

Vale ressaltar que a metodologia estabelecida pelo RTQ-C do PROCEL Edifica utiliza como parâmetro a potência instalada, que normalmente é superior à potência real demandada pelo sistema. Analisando os dados do consumo médio nos sistema de iluminação de ambos os hipermercados, obtidos com as medições realizadas, observa-se que o hipermercado A teria possibilidade de se enquadrar como nível A, enquanto que o hipermercado B teria possibilidade de se enquadrar como nível B, desde que respeitassem todos os pré-requisitos impostos pelo regulamento.

7. Sugestões para trabalhos futuros

Este trabalho apresentou uma análise comparativa entre os sistemas de iluminação natural e artificial em dois hipermercados de uma mesma rede, levando em consideração aspectos de eficiência energética. Como sugestões para trabalhos futuros, podem-se citar:

1. Sabe-se que o sistema de iluminação artificial consome energia e gera carga térmica no interior das edificações. O sistema de iluminação artificial apresenta dois tipos de consumo de energia: o consumo direto, ao utilizar a eletricidade para gerar luz, e um consumo indireto decorrente do calor gerado neste processo. De forma semelhante, o sistema de iluminação natural, ao permitir a entrada da radiação solar, também ocasiona a geração de calor. A associação do calor gerado pelos sistemas de iluminação artificial e natural deve ser retirada dos ambientes obrigando a um maior gasto do sistema de condicionamento de ar, aumentando o consumo geral de energia do edifício. Avaliar o quanto cada um destes sistemas pode contribuir ao aumento do consumo de energia devido a esta refrigeração adicional gerada seria um estudo que pode oferecer resultados interessantes.
2. Todas as medições de distribuição de iluminação realizadas no hipermercado B foram feitas com o sistema de iluminação artificial 100% ligado, devido principalmente à impossibilidade de se desligar esta iluminação devido à presença de pessoas durante o dia. Realizar medições variando os percentuais com que o sistema de iluminação artificial é ligado, variando este nível de zero (sistema artificial totalmente desligado, tendo somente iluminação natural) a 100% (sistema artificial completamente ligado) e observando os níveis de distribuição de iluminação interno ao hipermercado.
3. A influência da orientação das fileiras de iluminação em relação à disposição das prateleiras internas ao hipermercado pode influenciar tanto o nível de distribuição de iluminação interno quanto o consumo de energia elétrica, devido à possibilidade de se reduzir o número de luminárias. Avaliar o quanto isto poderia ocasionar em termos de consumo de energia, mantendo níveis de iluminação aceitáveis.

8. Referências Bibliográficas

- ATIF, M. R.; GALASIU, A. D. **Energy performance of daylight-linked automatic lighting control systems in large atrium spaces: report on two field-monitores case studies.** *Energy and Buildings* 40, p. 36 – 50, 2008.
- CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo.** *Ambiente Construído, Porto Alegre, v.10, n.2, p. 7-26, 2010.*
- CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação.** *Ambiente Construído, Porto Alegre, v.10, n.2, p. 27-40, 2010.*
- DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. **Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações.** *Ambiente Construído, Porto Alegre, v.10, n.4, p. 139-154, 2010.*
- DOULOS, L. et al. **Quantifying energy savings in daylight responsive systems: The role of dimming electronic ballasts.** *Energy and Buildings* 40, p. 514-523, 2008.
- EMBRASUL. **Manual do Analisador de Energia RE2000.**
- EMBRASUL. **Manual do Analisador de Energia RE6000.**
<http://www.embrasul.com.br/manuais/re6000.html>
(acesso em 10 de Fevereiro de 2011).
- EPE. **Balanco Energético Nacional.** Rio de Janeiro, 2008.
- EPE. **Balanco Energético Nacional.** Rio de Janeiro, 2010.
- EPE. **Consumo Final e Conservação de Energia Elétrica.** Rio de Janeiro, 2006.
- . **Consumo nacional de energia elétrica por classe - 1995 - 2010.**
<http://www.epe.gov.br/> (acesso em 9 de fevereiro de 2011).
- . **Plano Nacional de Energia 2030.** Rio de Janeiro, 2007.
- . **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica.** Ano IV, N. 40, Janeiro de 2011.
<http://www.epe.gov.br/> (acesso em 9 de Fevereiro de 2011).
- FONSECA, I. C. L. et al. **Avaliações de conforto ambiental e eficiência energética do projeto do prédio do Centro de Informações do Cresesb, no Rio de Janeiro.** *Ambiente Construído, Porto Alegre, v.10, n.2, p. 41-58, 2010.*

FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. **Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C.** *Ambiente Construído, Porto Alegre, v.10, n.2, p. 59-69, 2010.*

GIVONI, B. **Comfort, climate analysis and building desing guidelines.** Energy and Buildings, Lausanne, v.18, p. 11-23, 1992.

GELLER, H.S. **O uso eficiente da eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil.** Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE, 1991.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, agosto de 1997.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Influência das características reflexivas da luminária e da refletância das paredes na potência instalada em sistemas de iluminação.** VII ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis, SC, 1998.

IESNA – Illuminating Engineering Society of North America. **The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application. 9th Edition.** New York, 2000.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **CENSO 2010.** <http://www.ibge.gov.br> (acesso em 9 de Fevereiro de 2011).

INMETRO. **Portaria n. 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** Brasília, DF, 2009. <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php> (acesso em 5 de Outubro de 2010).

IWASHITA, J.; SAIDEL, M. A. **Avaliação da eficiência energética de sistemas de iluminação interior: parâmetros para uma abordagem uniforme visando a lei da eficiencia energética.** XVIII SNPTEE, 2005.

JANNUZZI, G. et al. **Projeto de Eficiência Energética no Hospital de Clínicas da Unicamp.** SENDI XVII ed , 2006.

LABEEE; Procel Edifica ; Eletrobrás ; Inmetro. **Etiquetagem de Eficiência Energética em Edificações - Volume 1.** 2009.

LABEEE; PROCEL; Eletrobrás ; Inmetro. **Manual Para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

LABEEE. Relatório técnico do método de avaliação do sistema de iluminação do RTQ-C. 2010. <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php> (acesso em 5 de Outubro de 2010).

LAMBERTS, R.; CARLO, J. Uma discussão sobre a regulamentação de eficiência energética em edificações. LabEEE, 2005.

LRC. Dimming T8 fluorescent system problems. 2006. <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip> (acesso em 5 de Outubro de 2010).

LRC. LED lighting in freezer cases. 2006. <http://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate> (acesso em 13 de Setembro de 2010).

LRC. Lighting Case Studies - A&P Food Market Old Lyme, Connecticut. 1994. <http://www.lrc.rpi.edu/programs/delta/> (acesso em 10 de Setembro de 2010).

LRC. National Lighting Product Information Program. Guide to specifying high frequency electronic ballast. 1996. <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip> (acesso em 5 de Outubro de 2010).

Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. <http://www.lrc.rpi.edu/> (acesso em 10 de Fevereiro de 2011).

LI, D.H.W.; LAM, J.C. Evaluation of lighting performance in office buildings with daylight controls. *Energy and Buildings* 33, p. 793 – 803, 2001.

LIPPSMEIER, G. Tropenbau: building in the tropics. München: Callwey Verlag, 1980.

Marko Sistemas de Coberturas Metálicas. <http://www.marko.com.br/> (acesso em 14 de Fevereiro de 2011).

MINIPA. Manual do luxímetro MLM 1010. <http://www.minipa.com.br/> (acesso em 11 de Fevereiro de 2011).

Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional. 2008.

MOURA, N. C. S. et al. Arquitetura e desempenho luminoso: CENPES II, o novo centro de pesquisas da Petrobras, no Rio de Janeiro, Brasil. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, v.9, n.2, p. 151-172, 2009.

NBR15215-4. Iluminação Natural - Parte 4: Verificação Experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de Medição. Novembro de 2004.

NBR5413. **Iluminância de interiores**. abril 1992.

ORDENES, M.; LAMBERTS, R.; FAGUNDES, J.C.S. **Retrofit do sistema de iluminação artificial na biblioteca central da UFSC**. ENCAC, 2005.

OSRAM. **Iluminação: Conceitos e Projetos**. *Osram*. 2009. www.osram.com.br (acesso em 10 de junho de 2010).

PROCEL - ELETROBRAS. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil - Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - Relatório setorial - Supermercados/Hipermercados**. 2006. <http://www.procelinfo.com.br> (acesso em 30 de Agosto de 2010).

PROCEL - ELETROBRAS. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil - Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - Classe Comercial - Alta tensão. Relatório Brasil Completo**. 2008. <http://www.procelinfo.com.br/> (acesso em 30 de Agosto de 2010).

PROCEL - ELETROBRAS. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil - Sumário executivo - ano base 2005**. 2007. <http://www.procelinfo.com.br> (acesso em 31 de Agosto de 2010).

PROCEL - ELETROBRAS. **Regulamento para a concessão do selo procel para reatores eletrônicos para lâmpadas Fluorescentes Tubulares**. <http://www.eletrobras.com/>. (acesso em 20 de Agosto de 2010).

PROCEL - ELETROBRAS. **Manual para especificações técnicas de sistemas de ar condicionado e iluminação**. 2005. <http://pga.pgr.mpf.gov.br/>. (acesso em 10 de julho de 2011).

ROISIN, B. et al. **Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption**. *Energy and Buildings* 40, p. 514-523, 2008.

SOARES, G.A.; AMERICO, M.; RODRIGUES, P.T.; ALMEIDA, I.S. **Diagnóstico da situação da eficiência energética elétrica nos países da América do Sul**. XX SNPTEE, 22 a 25 de Novembro de 2009: Recife - PE.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

9. Apêndices

A. Apêndice A – Medidas de iluminância nos hipermercados A e B

Este anexo apresenta os resultados obtidos com as medidas de iluminância realizadas nos hipermercados A e B, apresentando as planilhas de medições utilizadas e as curvas isolux traçadas a partir dos valores obtidos com as medidas e utilizando o software SURFER 3D.

A.1. Hipermercado A

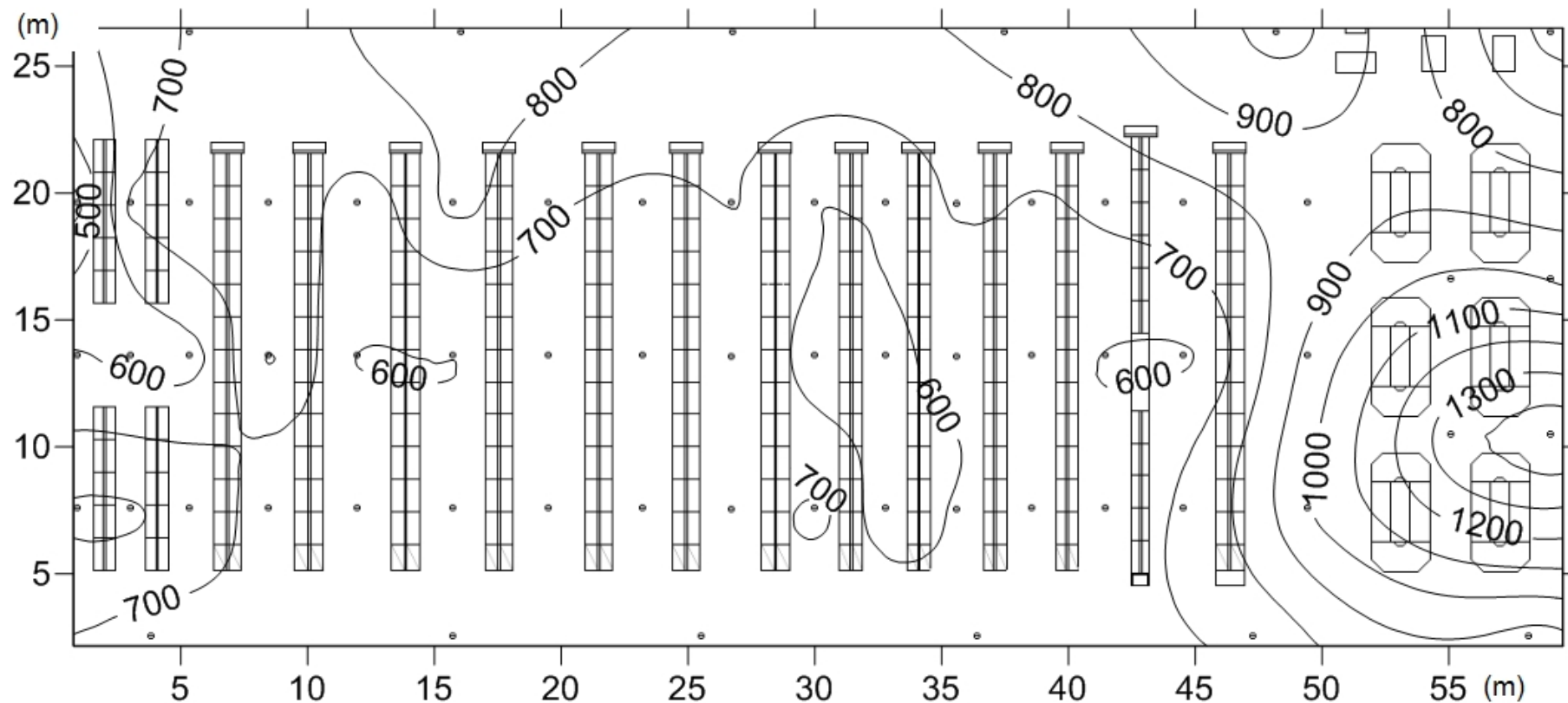
A.1.1. Planilha utilizada para anotar as medidas

Planilha de Medição das iluminancias - Extra Maracaju					
Data da medida:					
Horario da medida:					
Medidas:					
P1		P23		P45	
P2		P24		P46	
P3		P25		P47	
P4		P26		P48	
P5		P27		P49	
P6		P28		P50	
P7		P29		P51	
P8		P30		P52	
P9		P31		P53	
P10		P32		P54	
P11		P33		P55	
P12		P34		P56	
P13		P35		P57	
P14		P36		P58	
P15		P37		P59	
P16		P38		P60	
P17		P39		P61	
P18		P40		P62	
P19		P41		P63	
P20		P42		P64	
P21		P43			
P22		P44			

Notas:

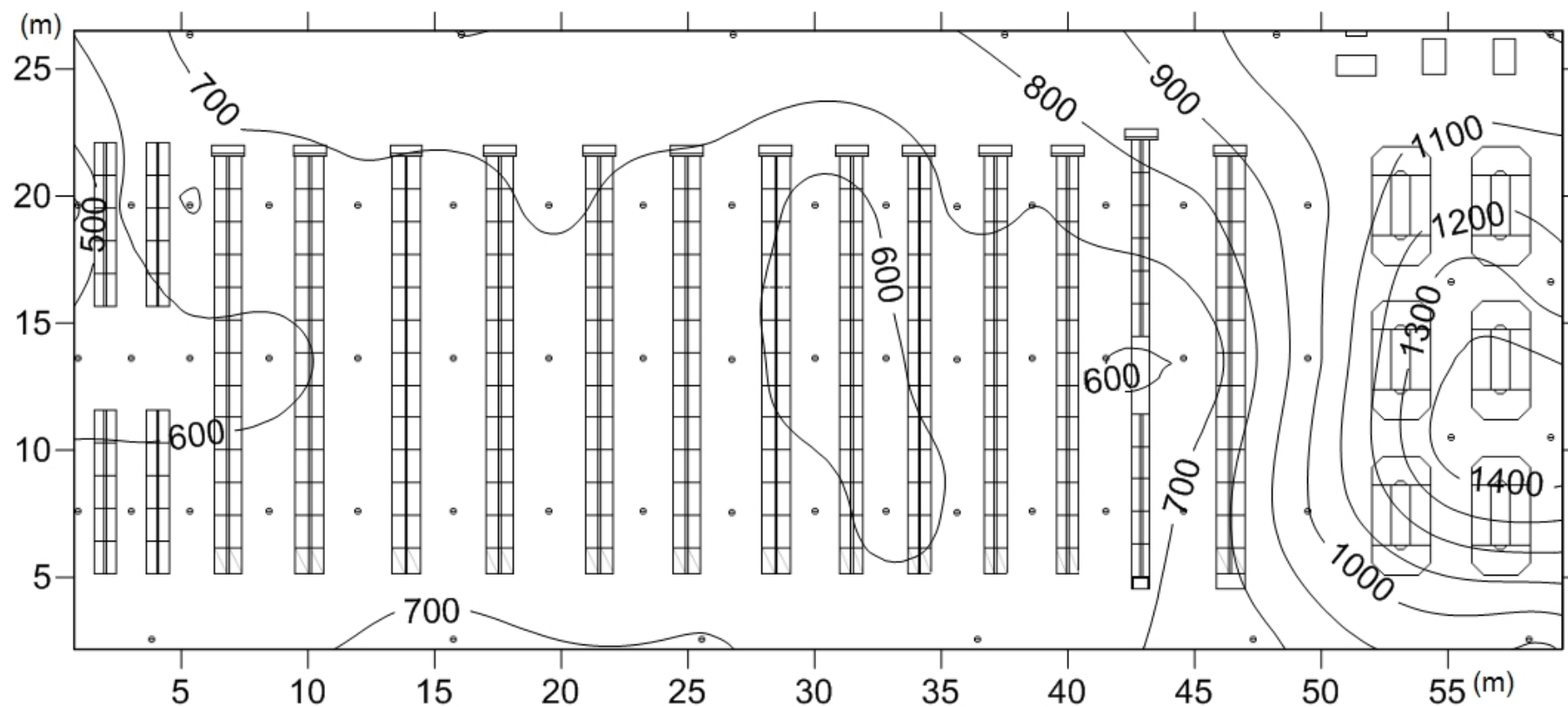
A.1.2. Curvas isolux da primeira etapa de Medição

Primeira medida em 26/07/2010 às 16h00



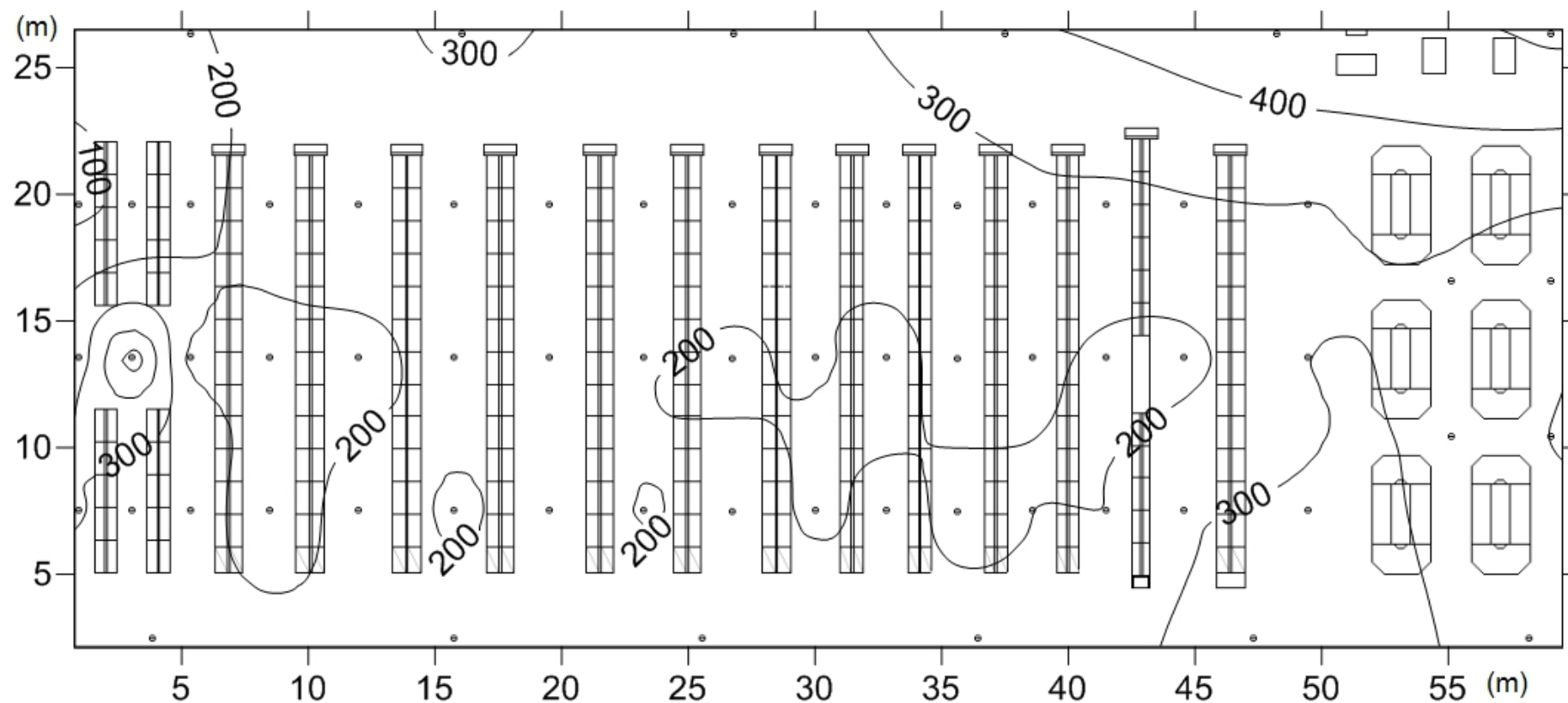
Valor mínimo	344 lux	Valor máximo:	1490 lux	Valor Médio	795 lux
---------------------	---------	----------------------	----------	--------------------	---------

Segunda medida em 26/07/2010 às 20h00:



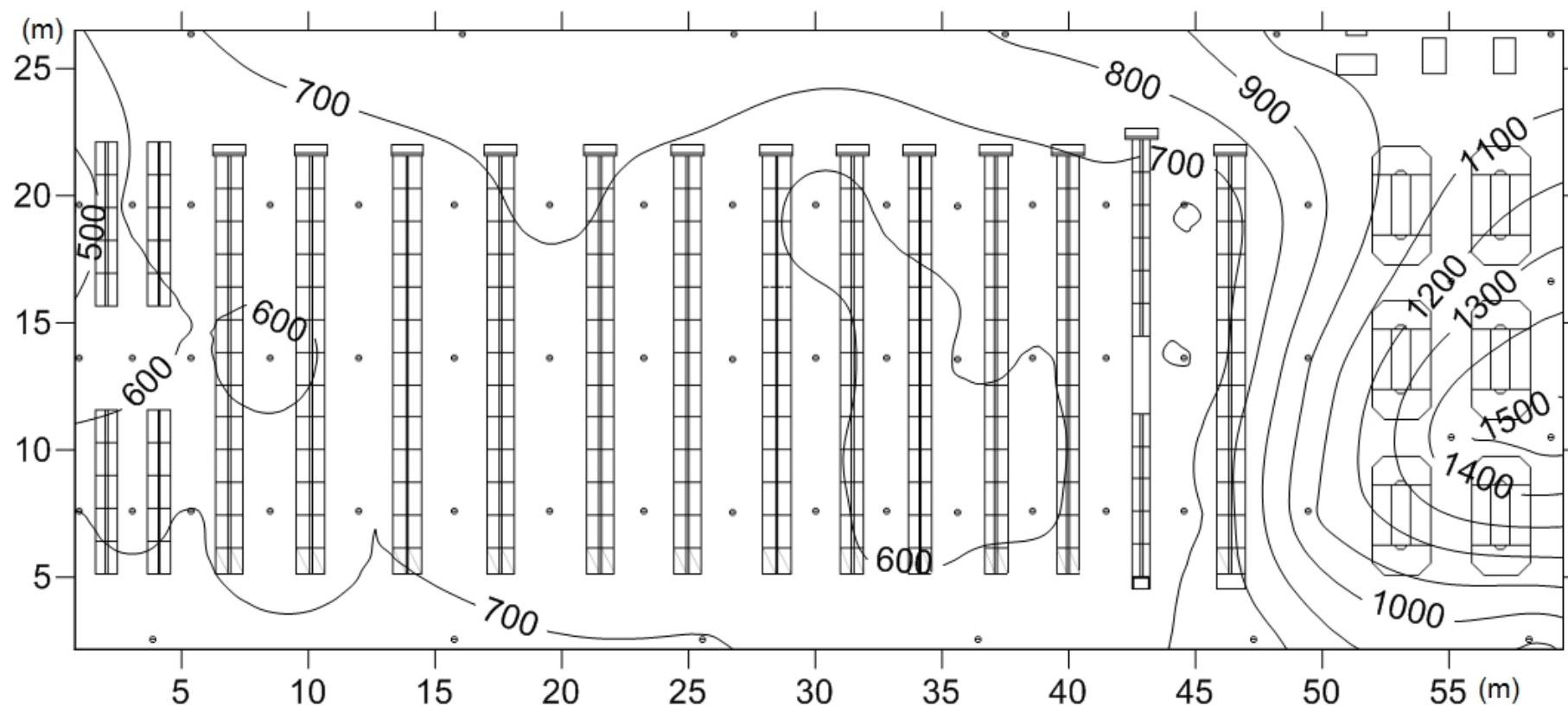
Valor mínimo	370 lux	Valor máximo:	1504 lux	Valor Médio	843x
---------------------	---------	----------------------	----------	--------------------	------

Terceira medida em 27/07/2010 às 00h00



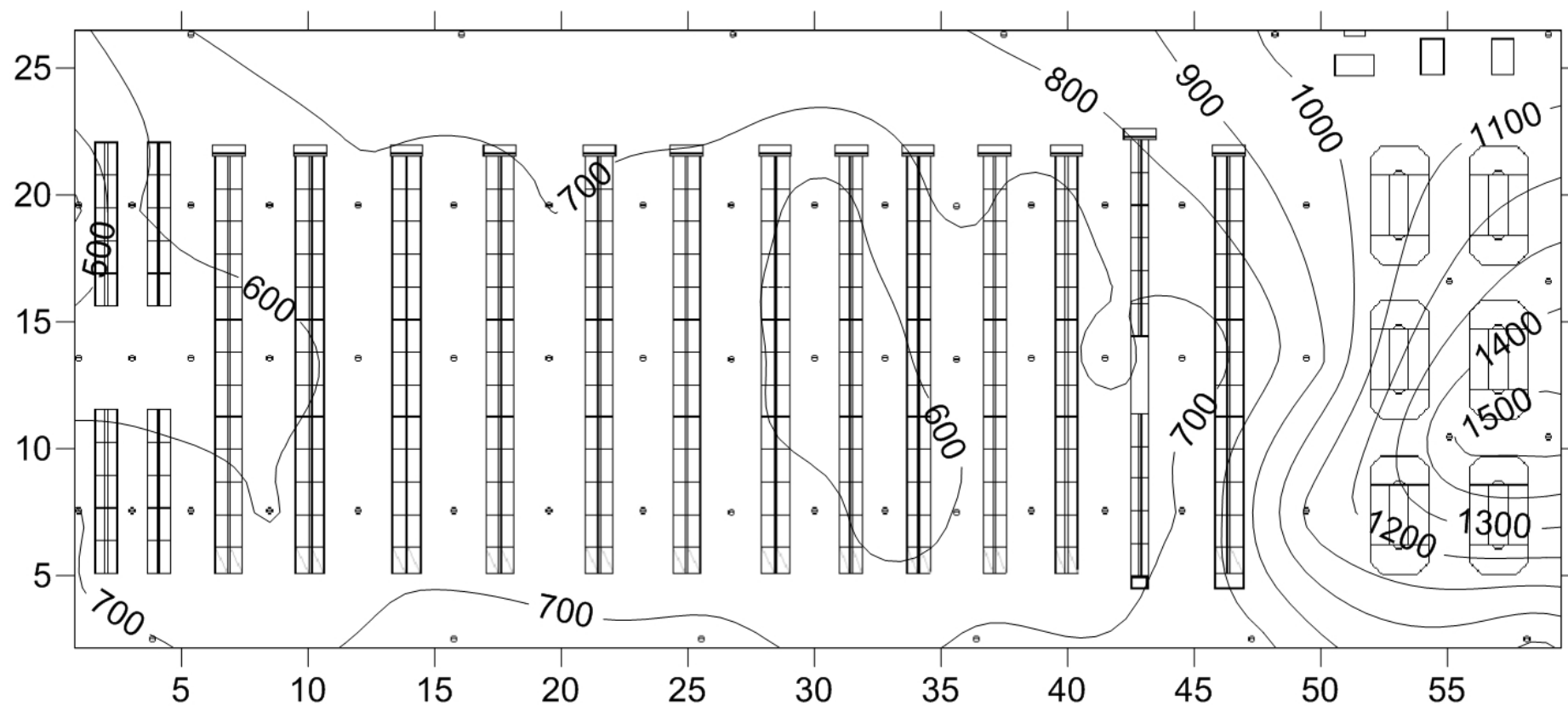
Valor mínimo	71 lux	Valor máximo:	524 lux	Valor Médio	274 lux
---------------------	--------	----------------------	---------	--------------------	---------

Quarta medida em 27/07/2010 às 9h00



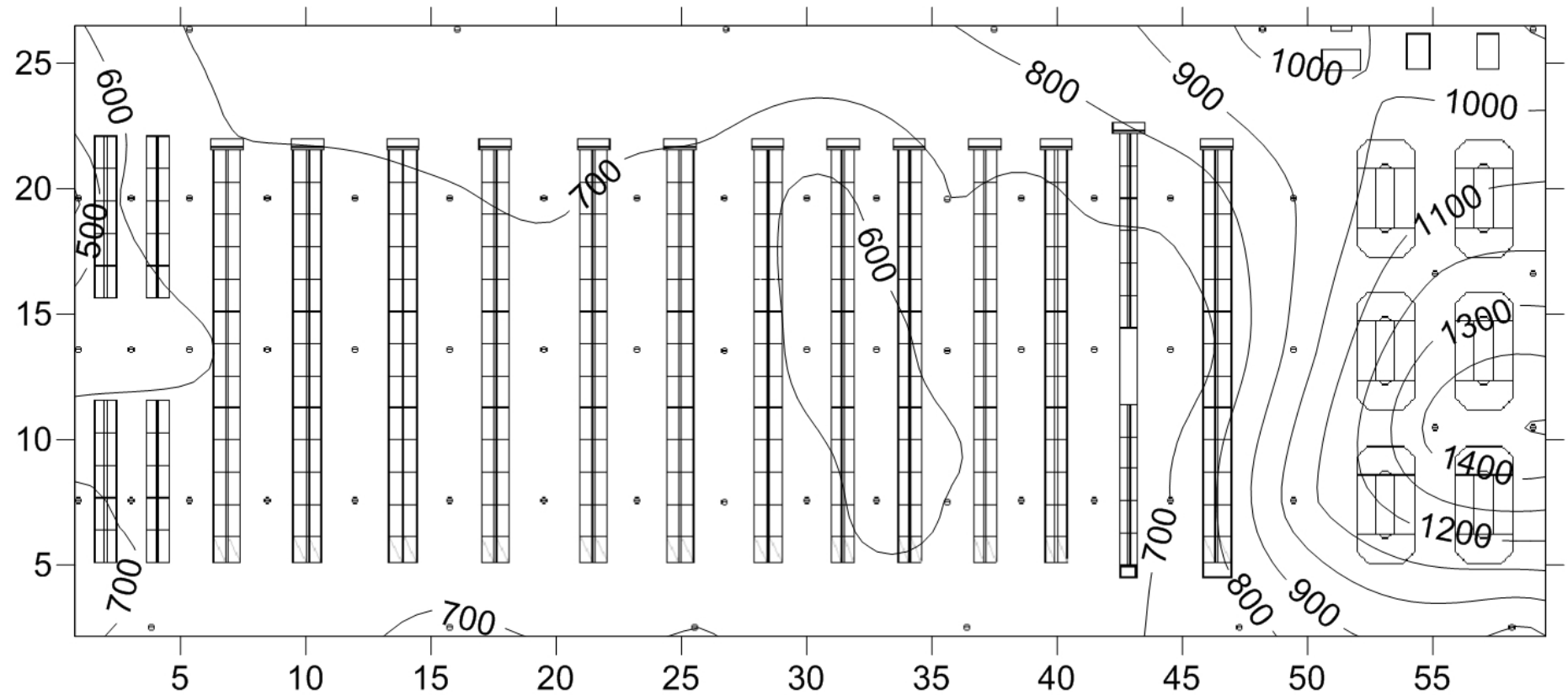
Valor mínimo	390 lux	Valor máximo:	1530 lux	Valor Médio	834 lux
---------------------	---------	----------------------	----------	--------------------	---------

Quinta medida em 27/07/2010 às 14h00



Valor mínimo	369 lux	Valor máximo:	1530 lux	Valor Médio	840 lux
---------------------	---------	----------------------	----------	--------------------	---------

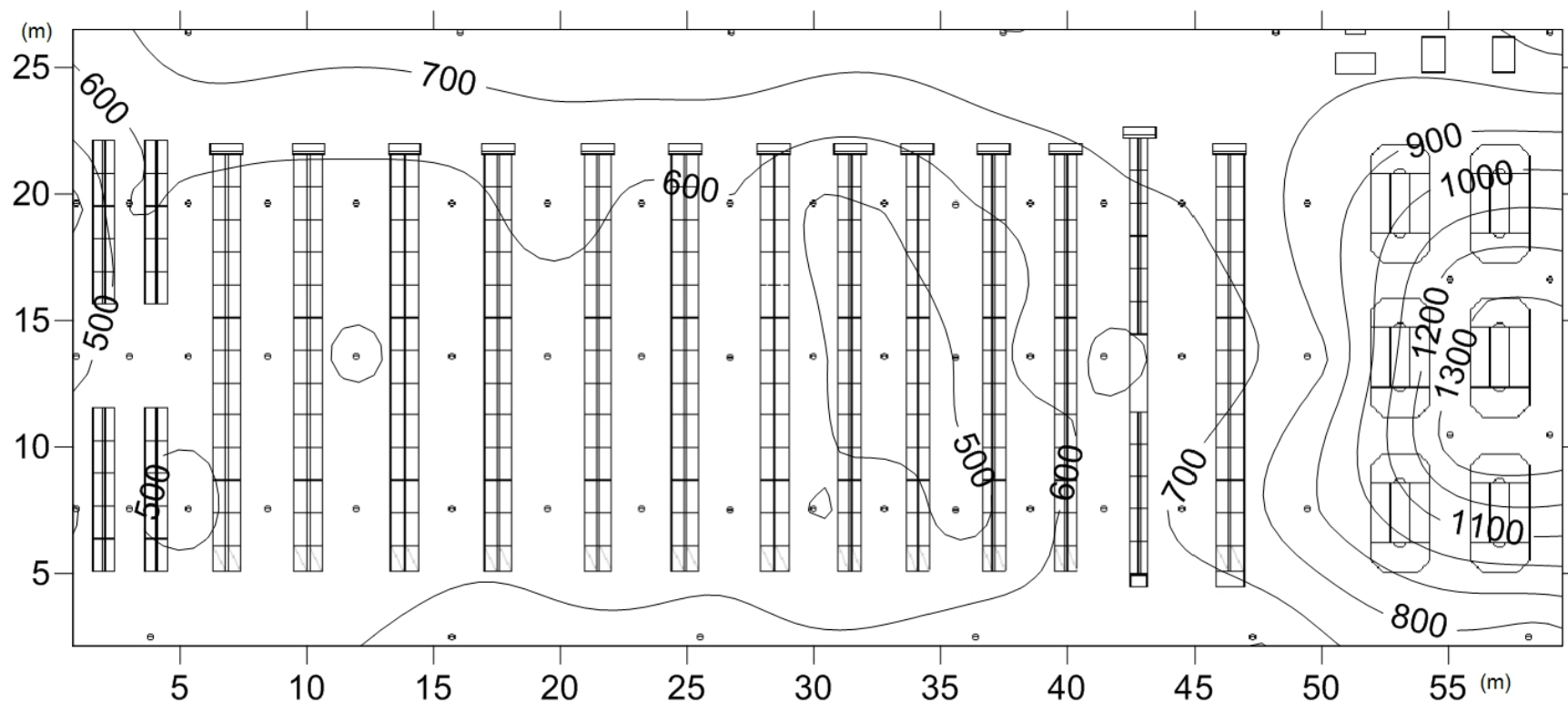
Média entre as medidas 1, 2, 4 e 5.



Valor mínimo	368 lux	Valor máximo:	1513 lux	Valor Médio	828 lux
---------------------	---------	----------------------	----------	--------------------	---------

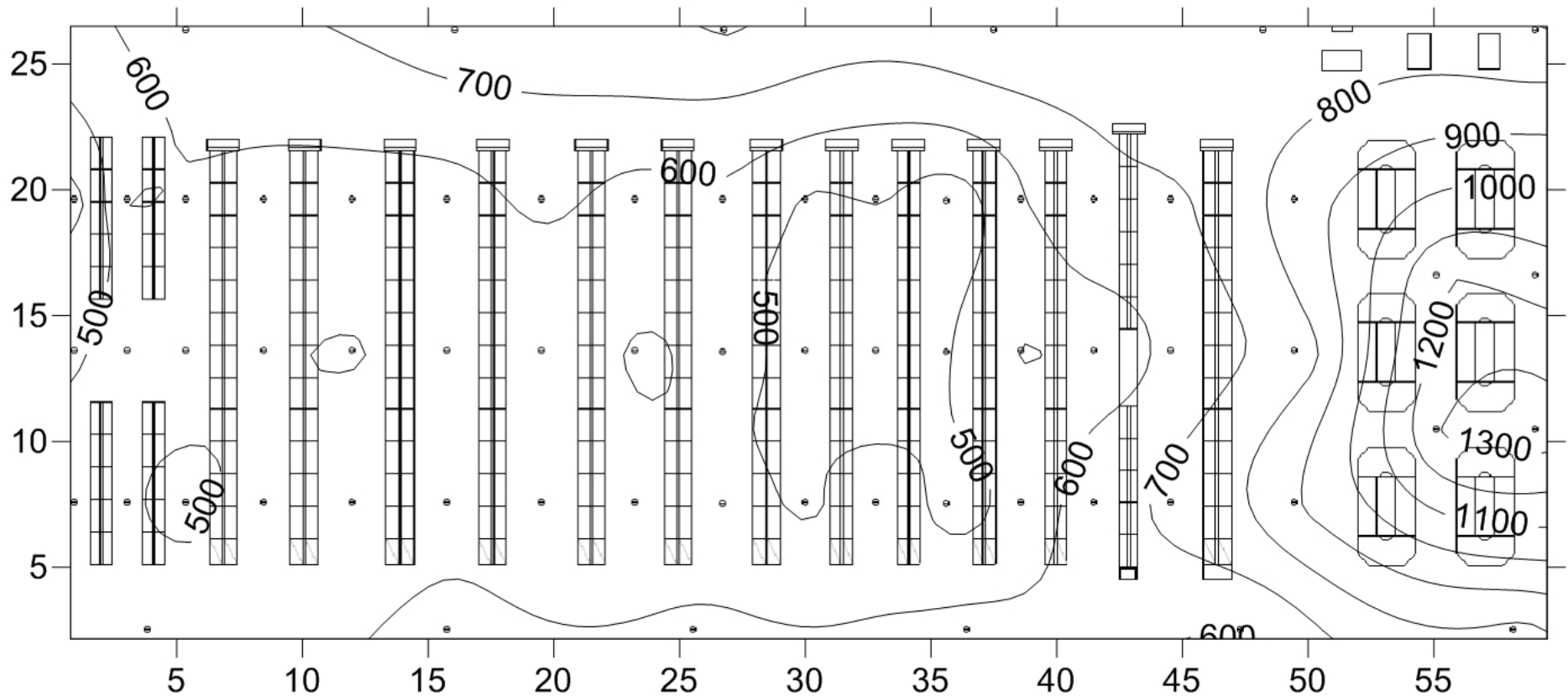
A.1.3. Curvas isolux da Segunda etapa de Medição

Primeira medida em 01/02/2011 às 10h00



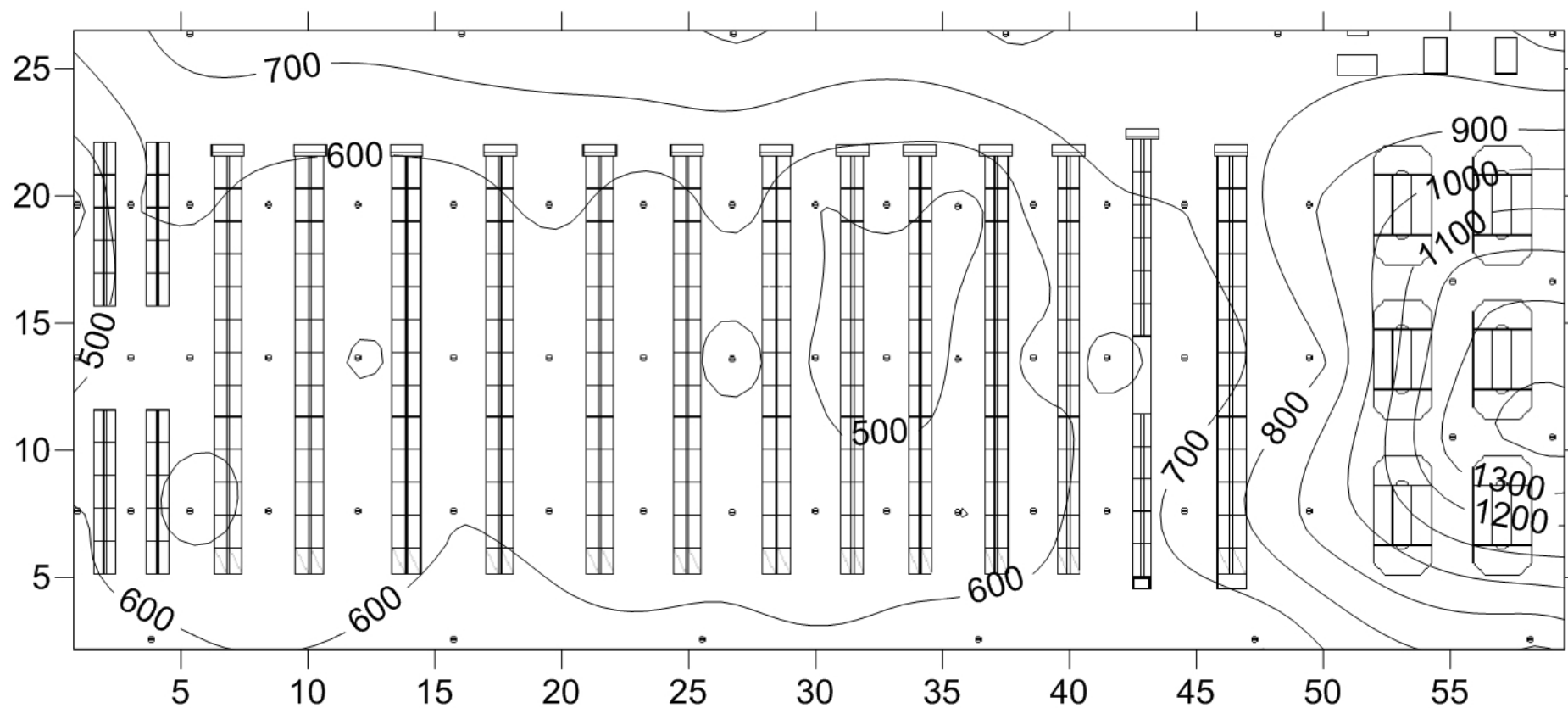
Valor mínimo	353 lux	Valor máximo:	1390 lux	Valor Médio	744 lux
---------------------	---------	----------------------	----------	--------------------	---------

Segunda medida em 01/02/2011 às 17h00



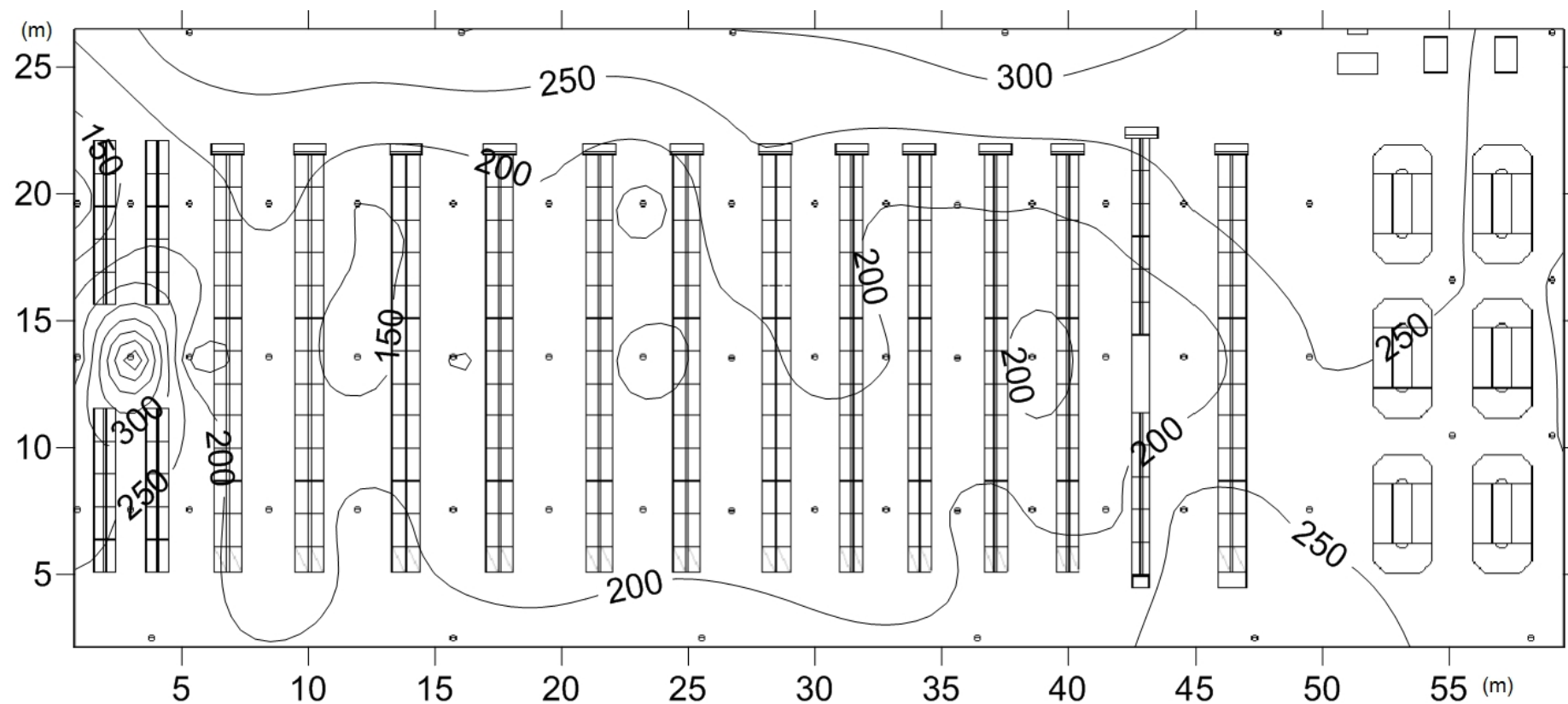
Valor mínimo	340 lux	Valor máximo:	1340 lux	Valor Médio	725 lux
---------------------	---------	----------------------	----------	--------------------	---------

Terceira medida em 01/02/2011 às 22h00



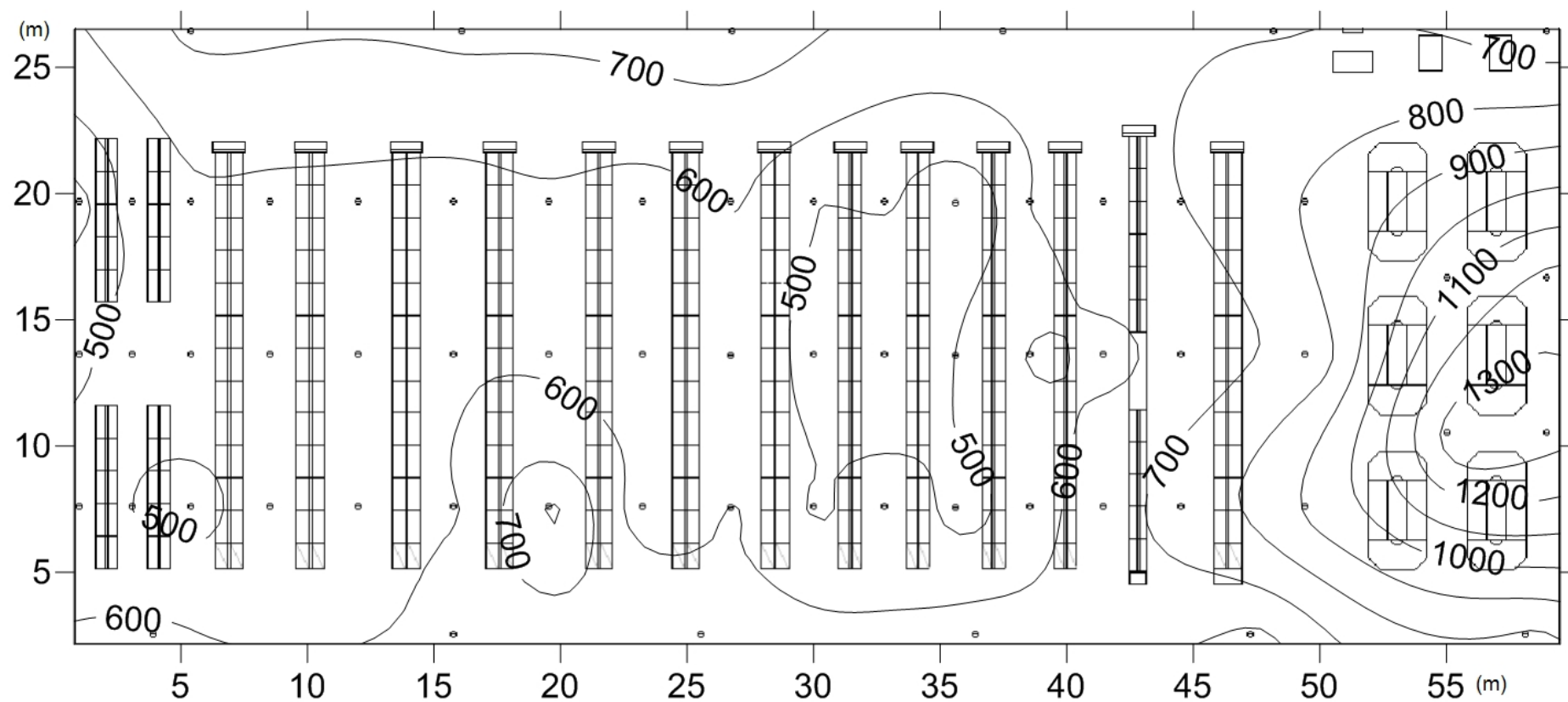
Valor mínimo	350 lux	Valor máximo:	1434 lux	Valor Médio	752 lux
---------------------	---------	----------------------	----------	--------------------	---------

Quarta medida em 02/02/2011 às 00h00



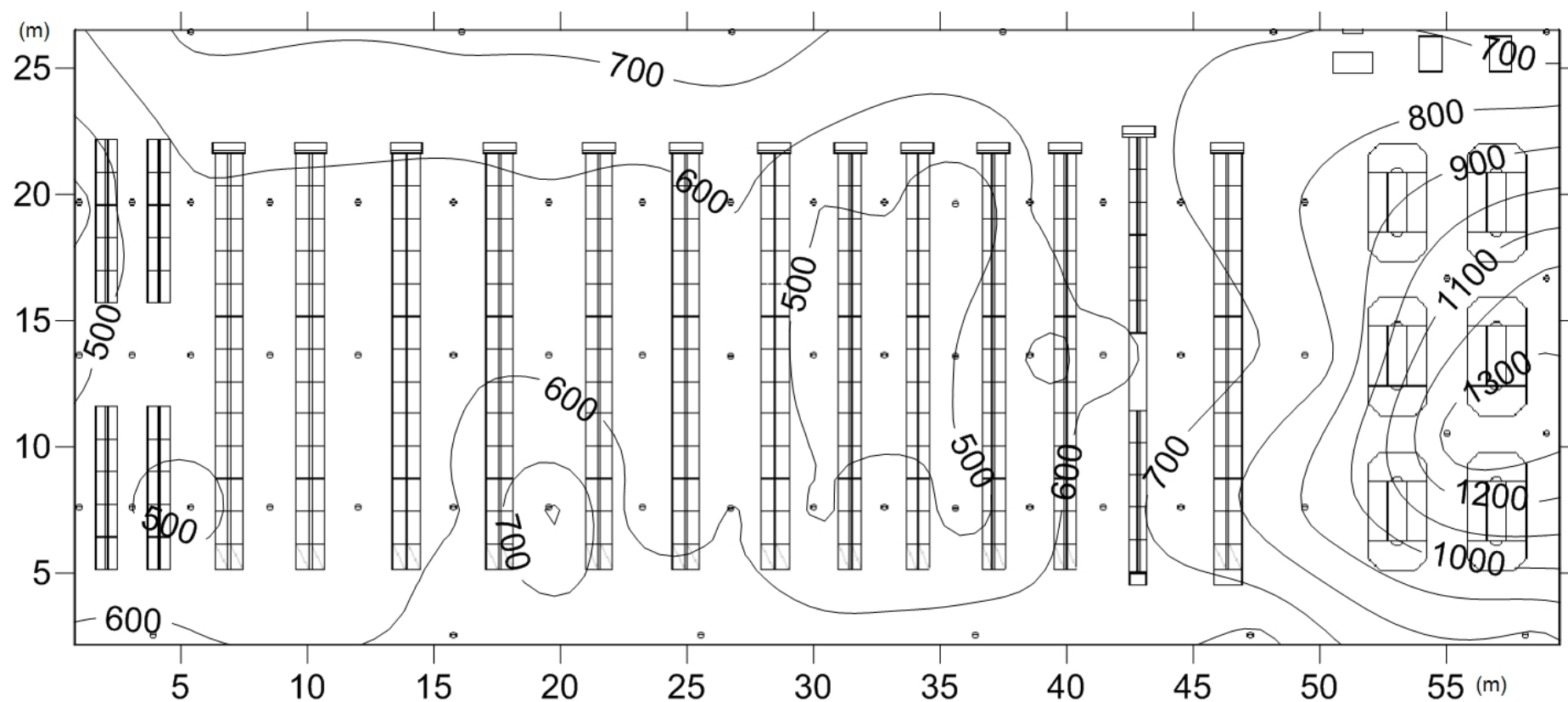
Valor mínimo	62 lux	Valor máximo:	349 lux	Valor Médio	234 lux
---------------------	--------	----------------------	---------	--------------------	---------

Quinta medida em 02/02/2011 às 10h00



Valor mínimo	338 lux	Valor máximo:	1380 lux	Valor Médio	724 lux
---------------------	---------	----------------------	----------	--------------------	---------

Média entre as medidas 1, 2, 4 e 5.



Valor mínimo	345 lux	Valor máximo:	1367 lux	Valor Médio	736 lux
---------------------	---------	----------------------	----------	--------------------	---------

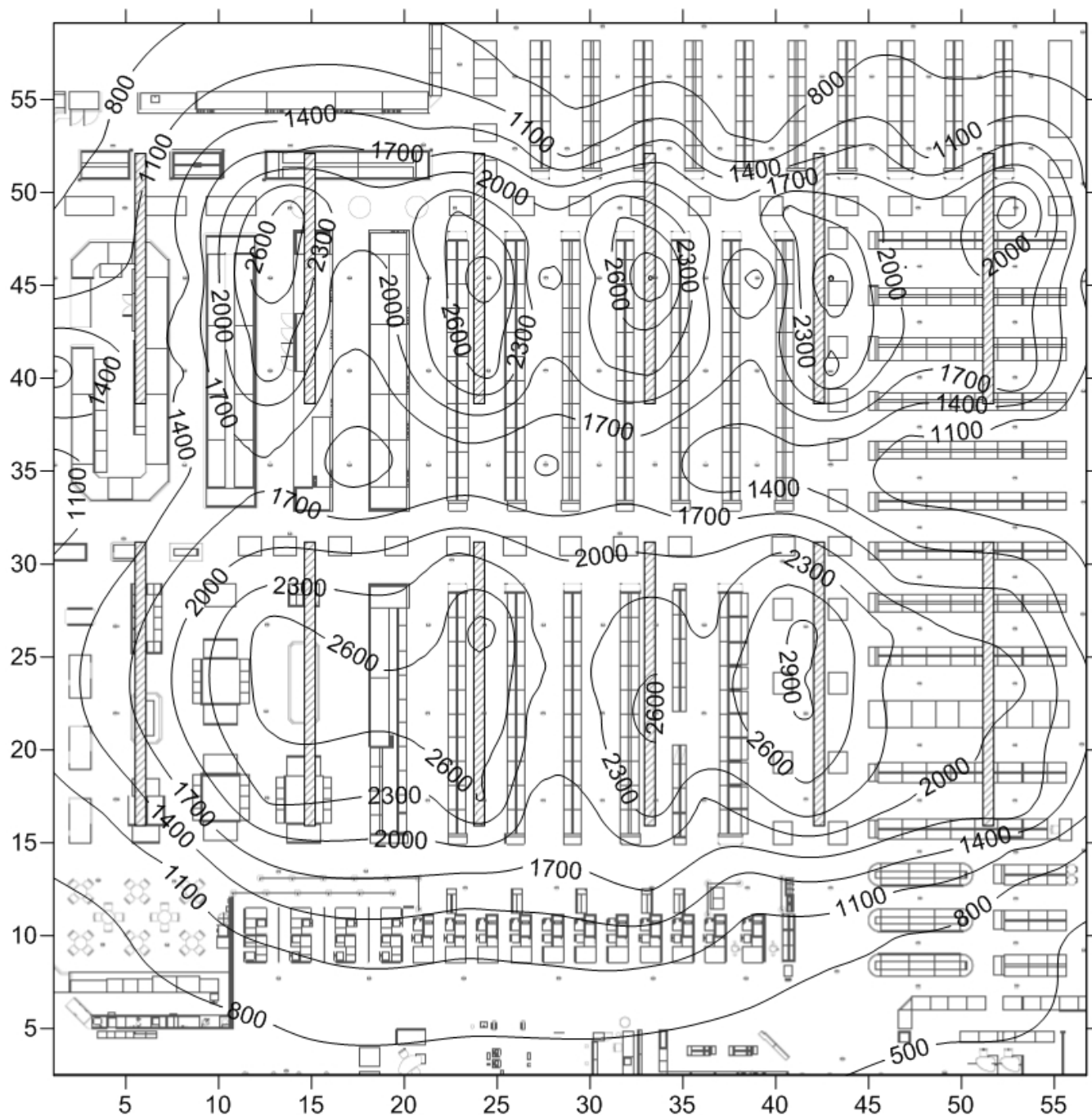
A.2. Hipermercado B

A.2.1. Planilha utilizada para anotar as medidas

Planilha de Medição das Iluminâncias - Extra Jq. Murtinho							
Data da medida:							
Horario da medida:							
Medidas:							
P1		P47		P93		P139	
P2		P48		P94		P140	
P3		P49		P95		P141	
P4		P50		P96		P142	
P5		P51		P97		P143	
P6		P52		P98		P144	
P7		P53		P99		P145	
P8		P54		P100		P146	
P9		P55		P101		P147	
P10		P56		P102		P148	
P11		P57		P103		P149	
P12		P58		P104		P150	
P13		P59		P105		P151	
P14		P60		P106		P152	
P15		P61		P107		P153	
P16		P62		P108		P154	
P17		P63		P109		P155	
P18		P64		P110		P156	
P19		P65		P111		P157	
P20		P66		P112		P158	
P21		P67		P113		P159	
P22		P68		P114		P160	
P23		P69		P115		P161	
P24		P70		P116		P162	
P25		P71		P117		P163	
P26		P72		P118		P164	
P27		P73		P119		P165	
P28		P74		P120		P166	
P29		P75		P121		P167	
P30		P76		P122			
P31		P77		P123			
P32		P78		P124			
P33		P79		P125			
P34		P80		P126			
P35		P81		P127			
P36		P82		P128			
P37		P83		P129			
P38		P84		P130			
P39		P85		P131			
P40		P86		P132			
P41		P87		P133			
P42		P88		P134			
P43		P89		P135			
P44		P90		P136			
P45		P91		P137			
P46		P92		P138			

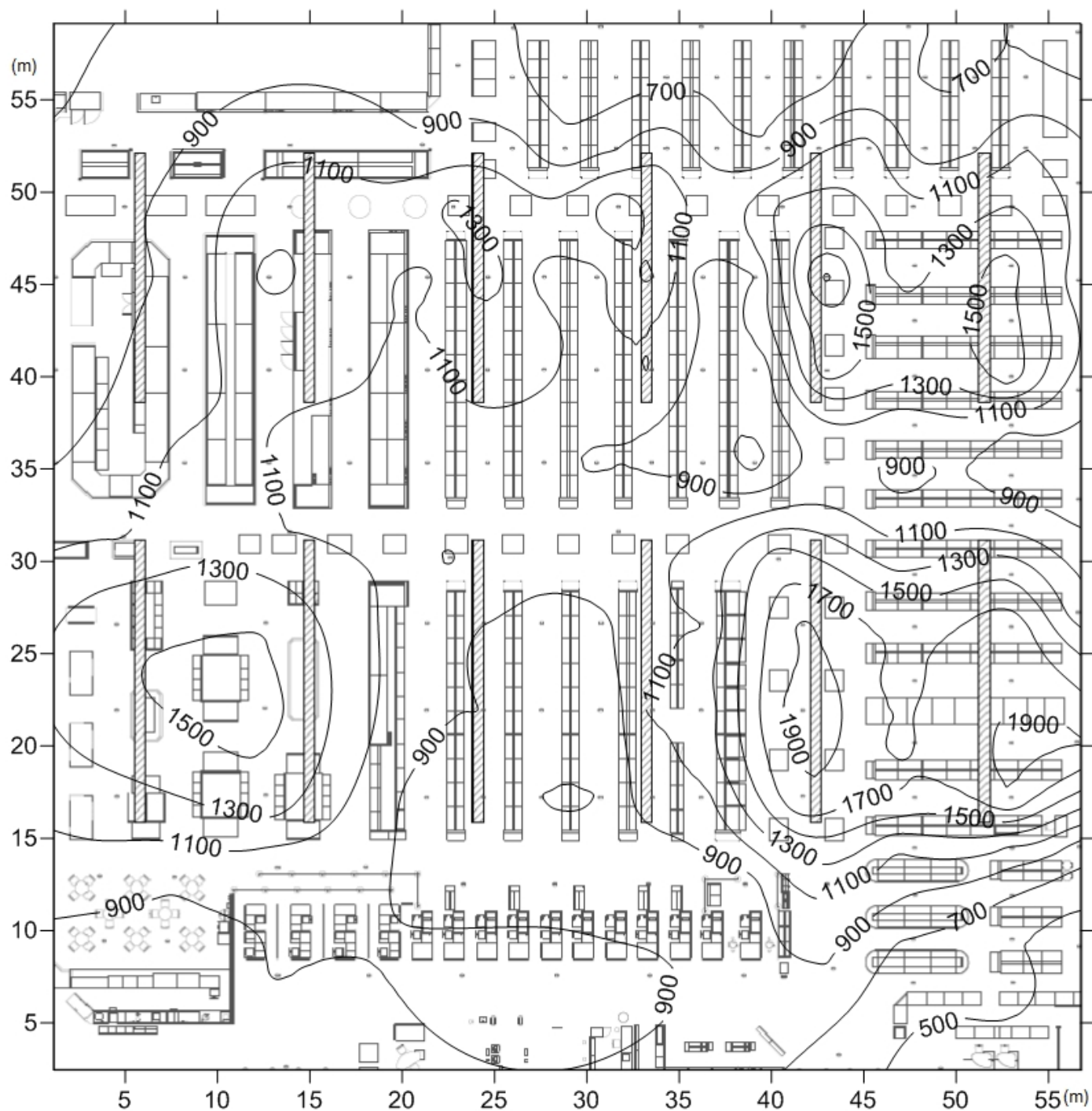
A.2.2. Curvas isolux da primeira etapa de Medição

Primeira medida em 30/07/2010 às 9h00



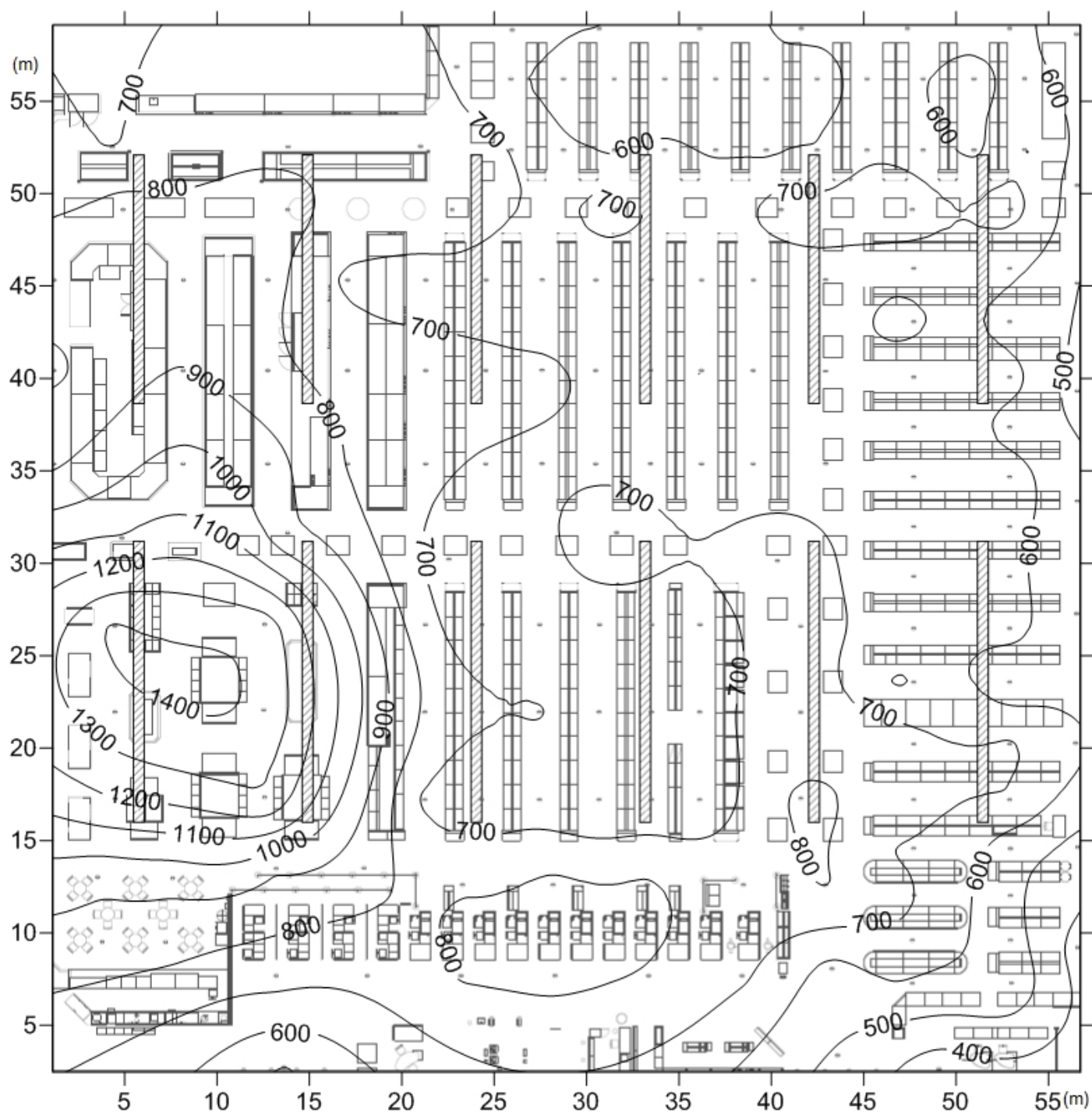
Valor mínimo	396 lux	Valor Máximo	3290 lux	Valor Médio	1619 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	----------

Segunda medida em 30/07/2010 às 14h00



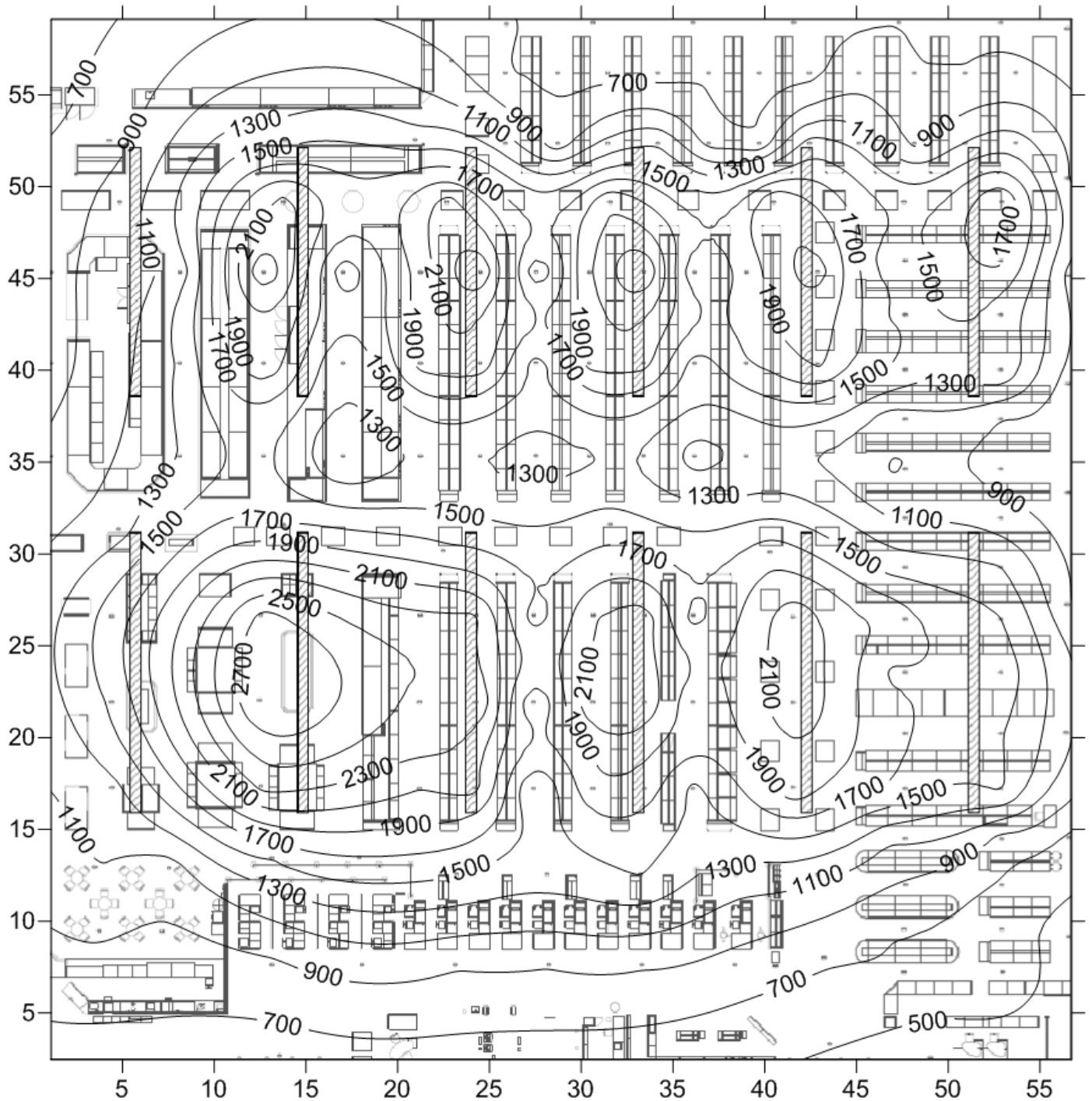
Valor mínimo	355 lux	Valor Máximo	2030 lux	Valor Médio	1088 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	----------

Terceira medida em 30/07/2010 às 20h00



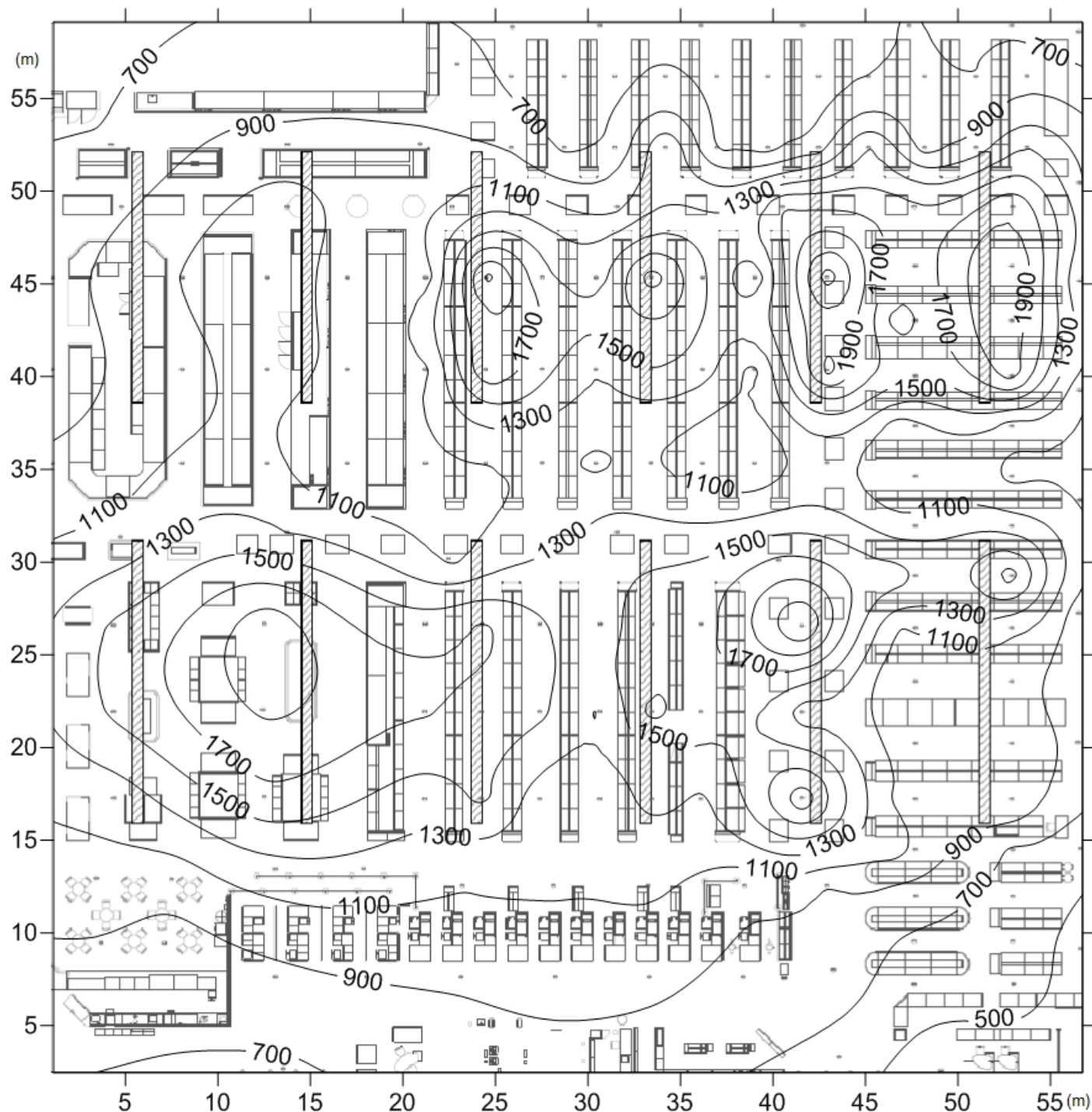
Valor mínimo	328 lux	Valor Máximo	1412 lux	Valor Médio	772 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	---------

Quarta medida em 31/07/2010 às 9h00



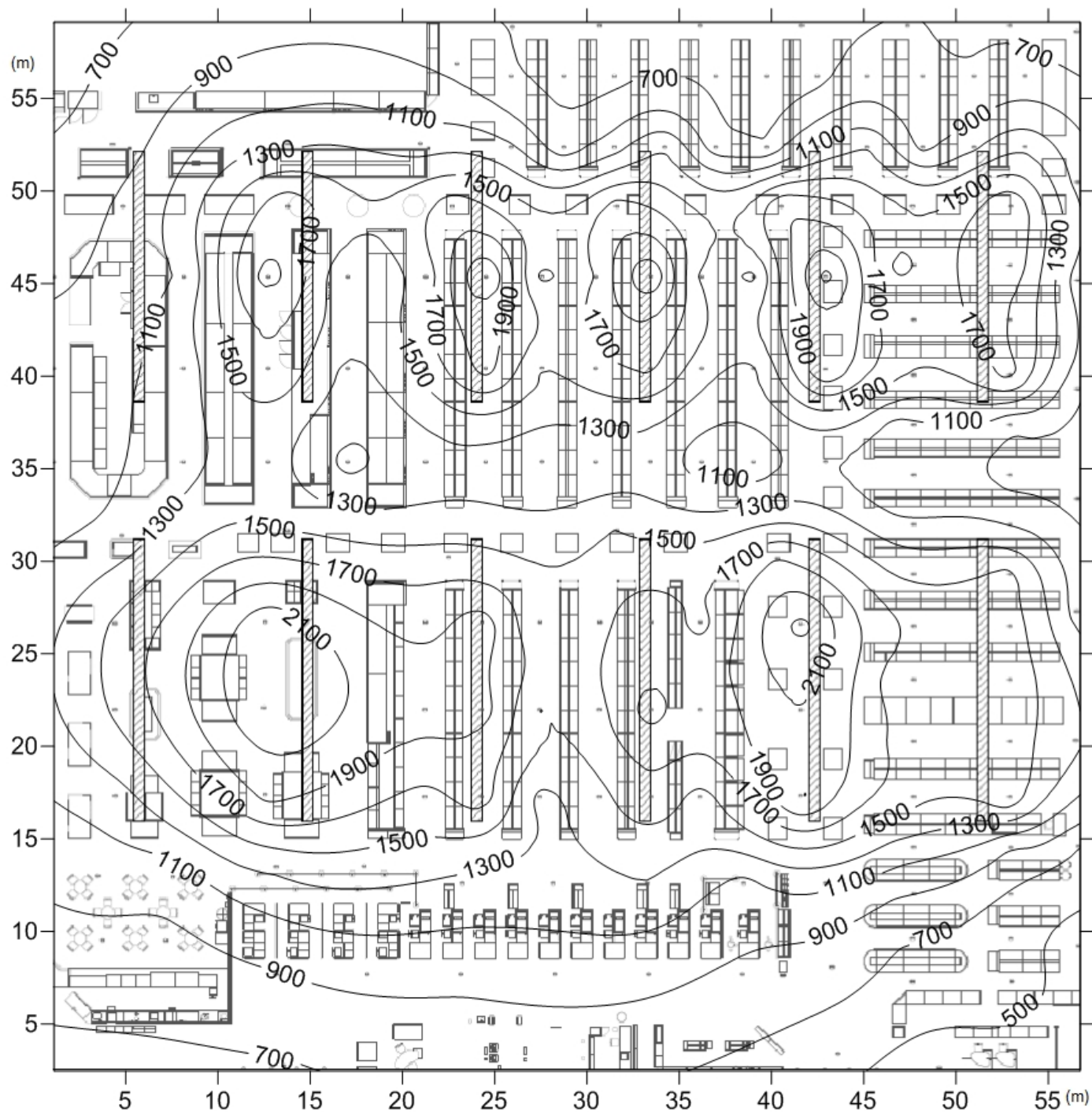
Valor mínimo	365 lux	Valor Máximo	2900 lux	Valor Médio	1409 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	----------

Quinta medida em 31/07/2010 às 14h00



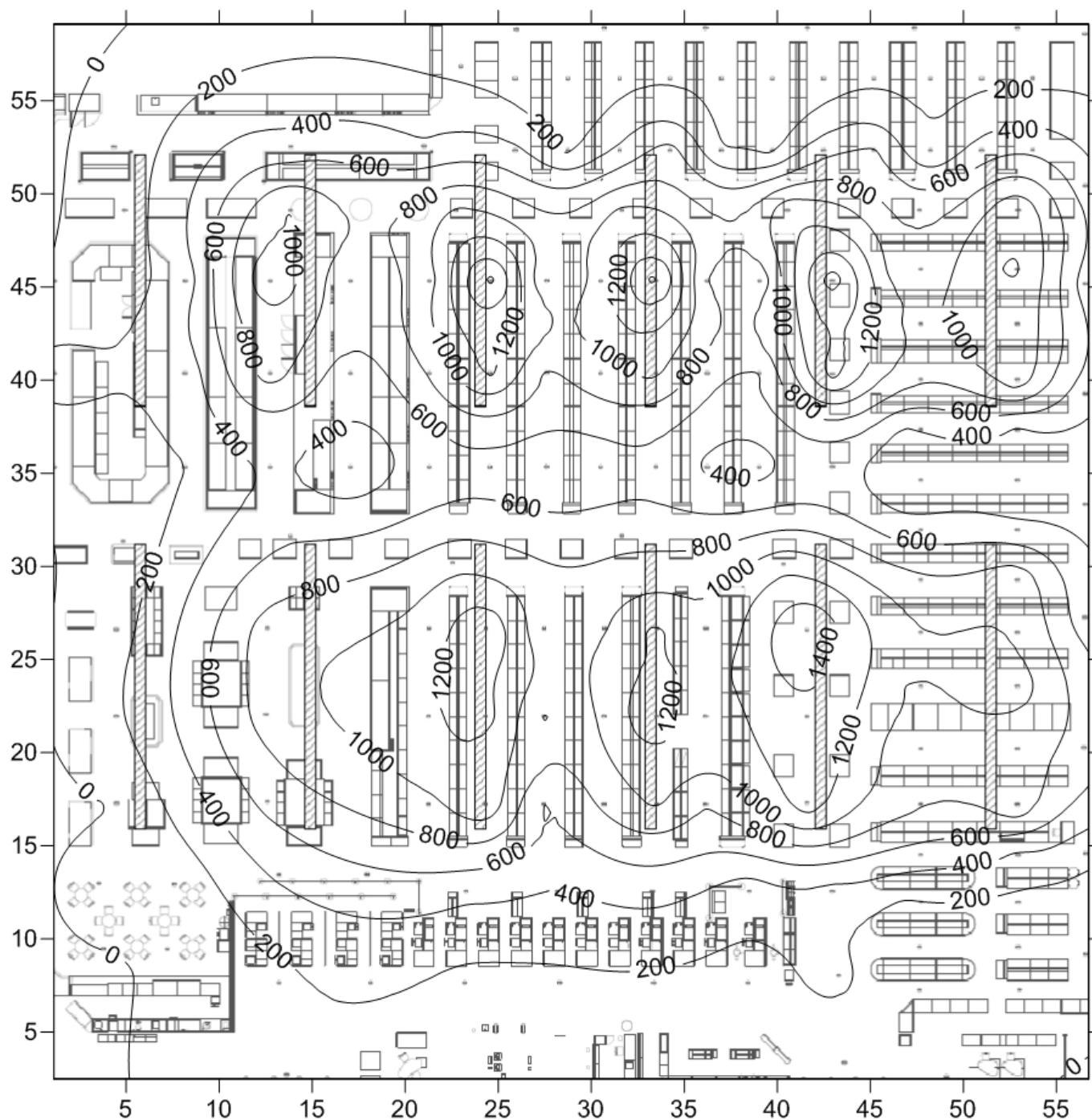
Valor mínimo	380 lux	Valor Máximo	2400 lux	Valor Médio	1187 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	----------

Média entre as medidas 1, 2, 4 e 5.



Valor mínimo	322 lux	Valor Máximo	2890 lux	Valor Médio	1326 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	----------

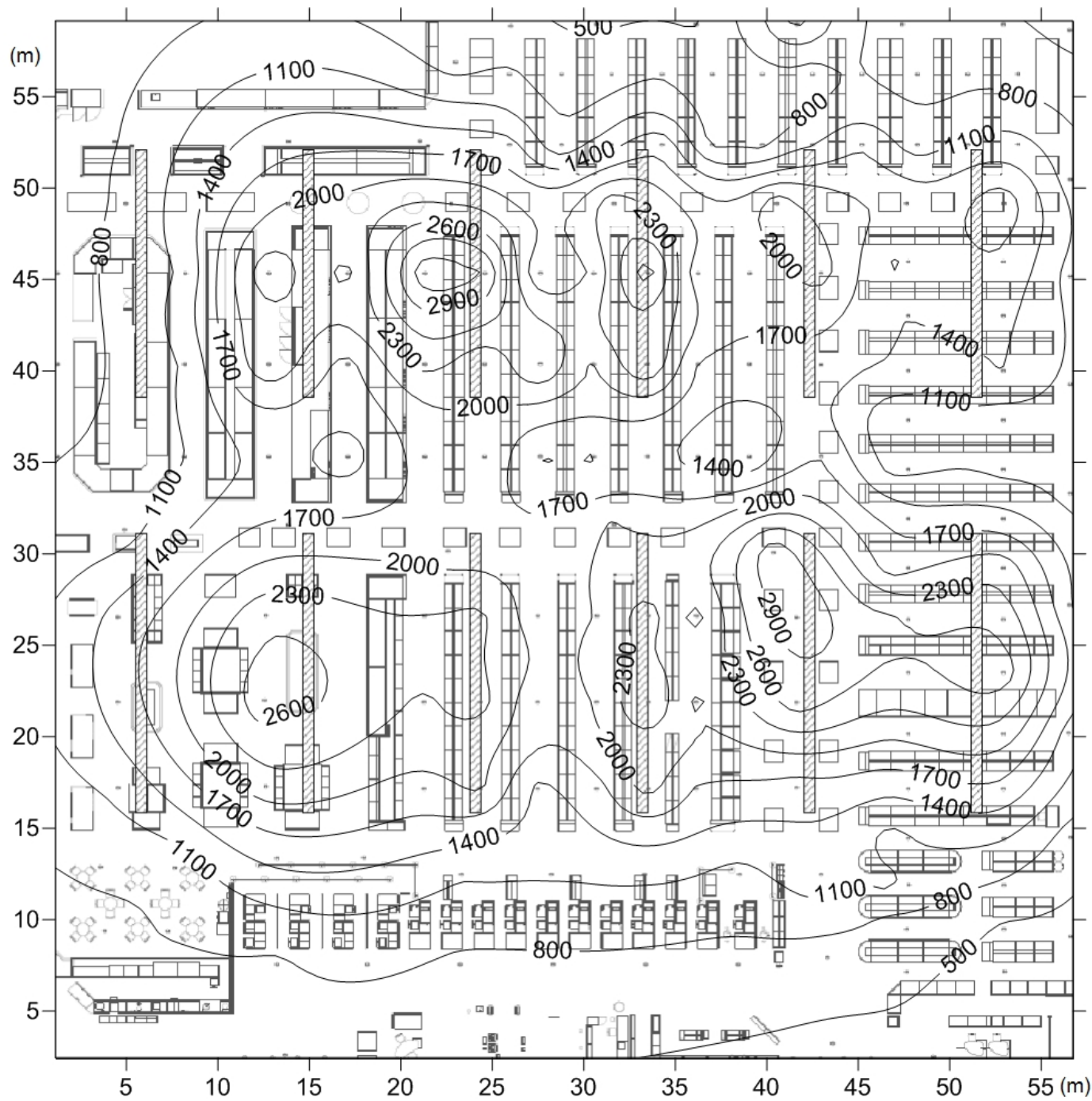
Estimativa da contribuição média da iluminação natural



Valor mínimo	0 lux	Valor Máximo	1700 lux	Valor Médio	553 lux
---------------------	-------	---------------------	----------	--------------------	---------

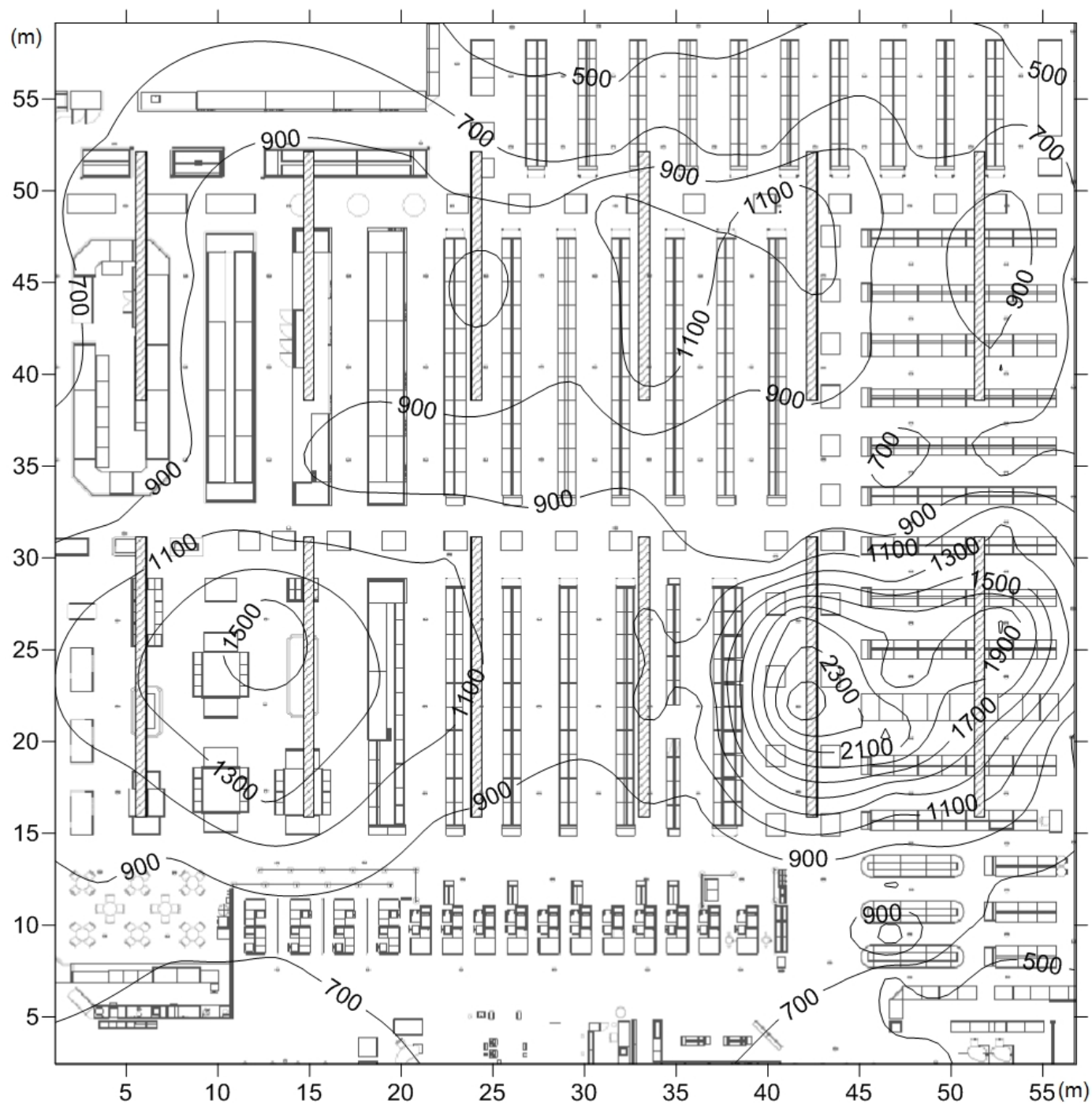
A.2.3. Curvas isolux da segunda etapa de Medição

Primeira medida em 26/01/2011 às 9h00



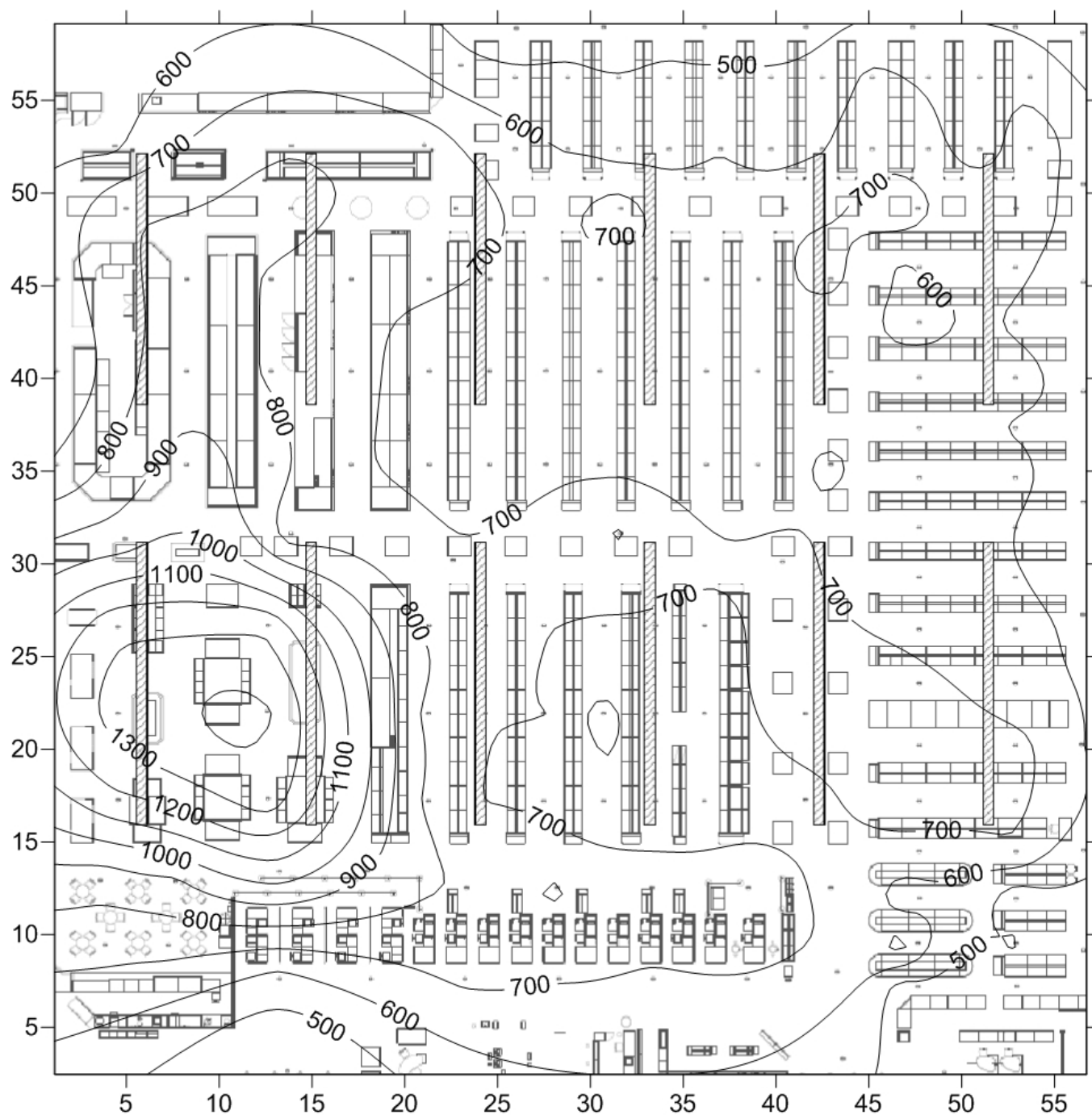
Valor mínimo	371 lux	Valor Máximo	3400 lux	Valor Médio	1488 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	----------

Segunda medida em 26/01/2010 às 15h00



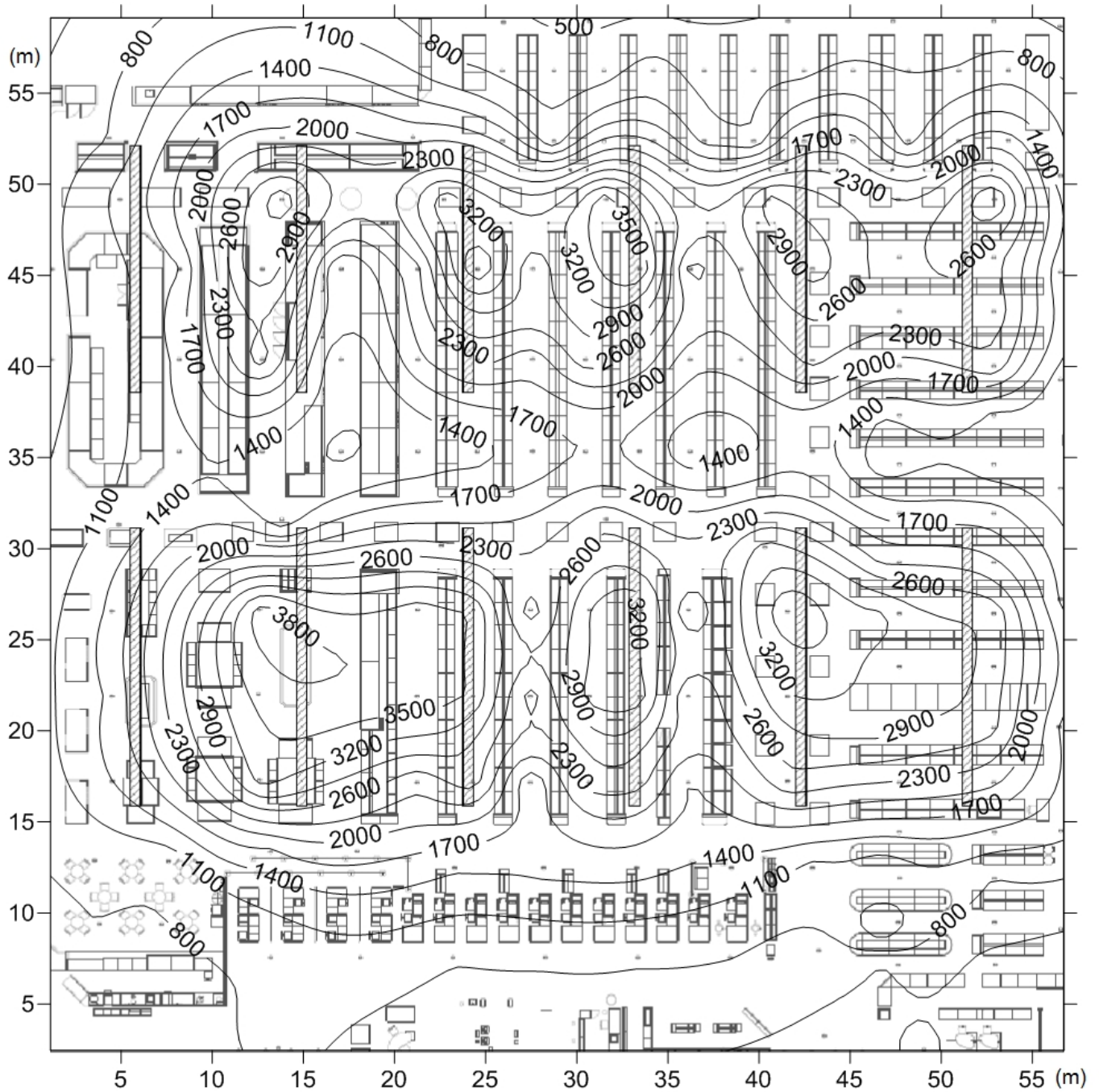
Valor mínimo	360 lux	Valor Máximo	2680 lux	Valor Médio	969 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	---------

Terceira medida em 26/01/2011 às 22h00



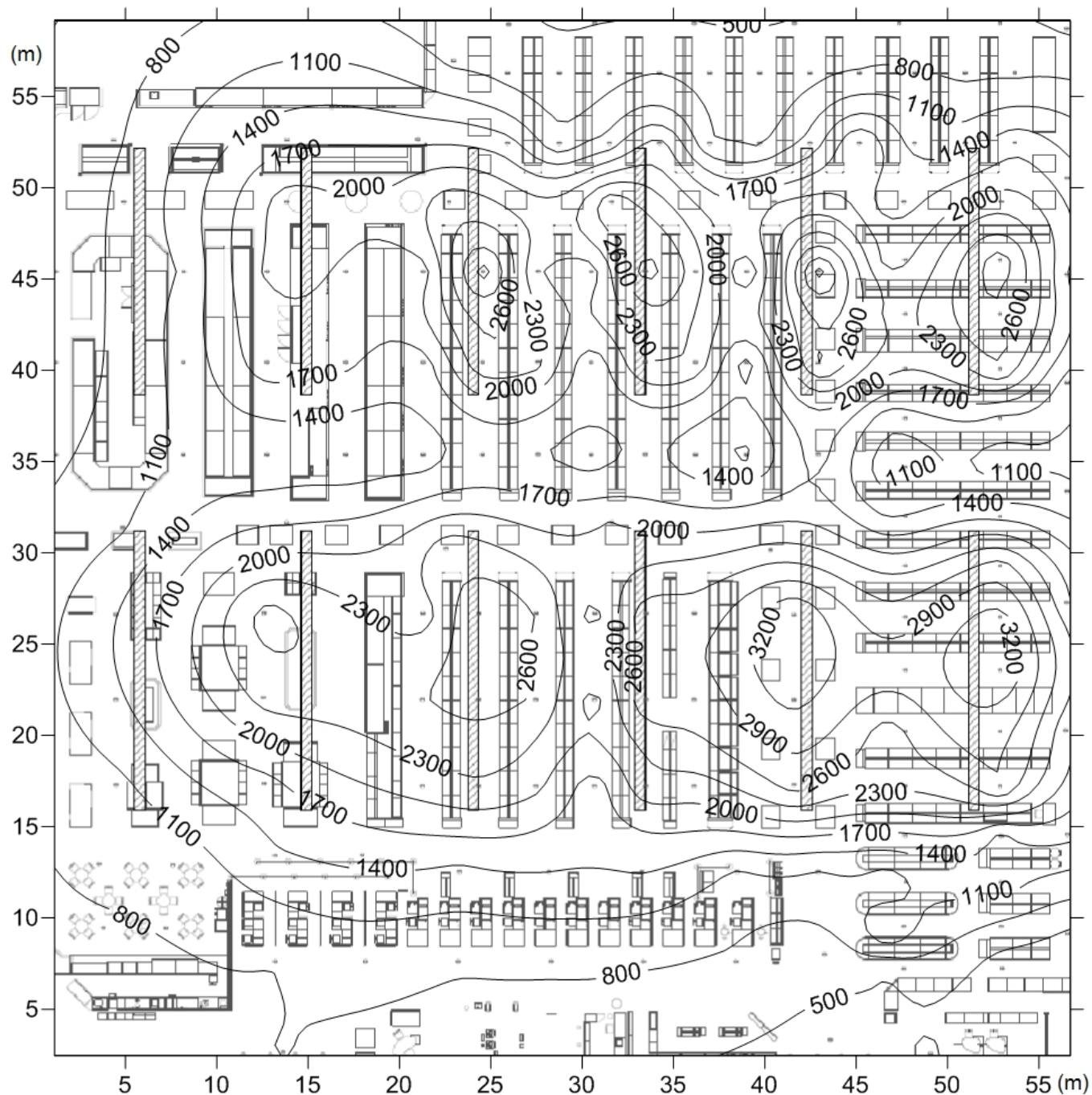
Valor mínimo	305 lux	Valor Máximo	1410 lux	Valor Médio	740 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	---------

Quarta medida em 27/01/2011 às 9h00



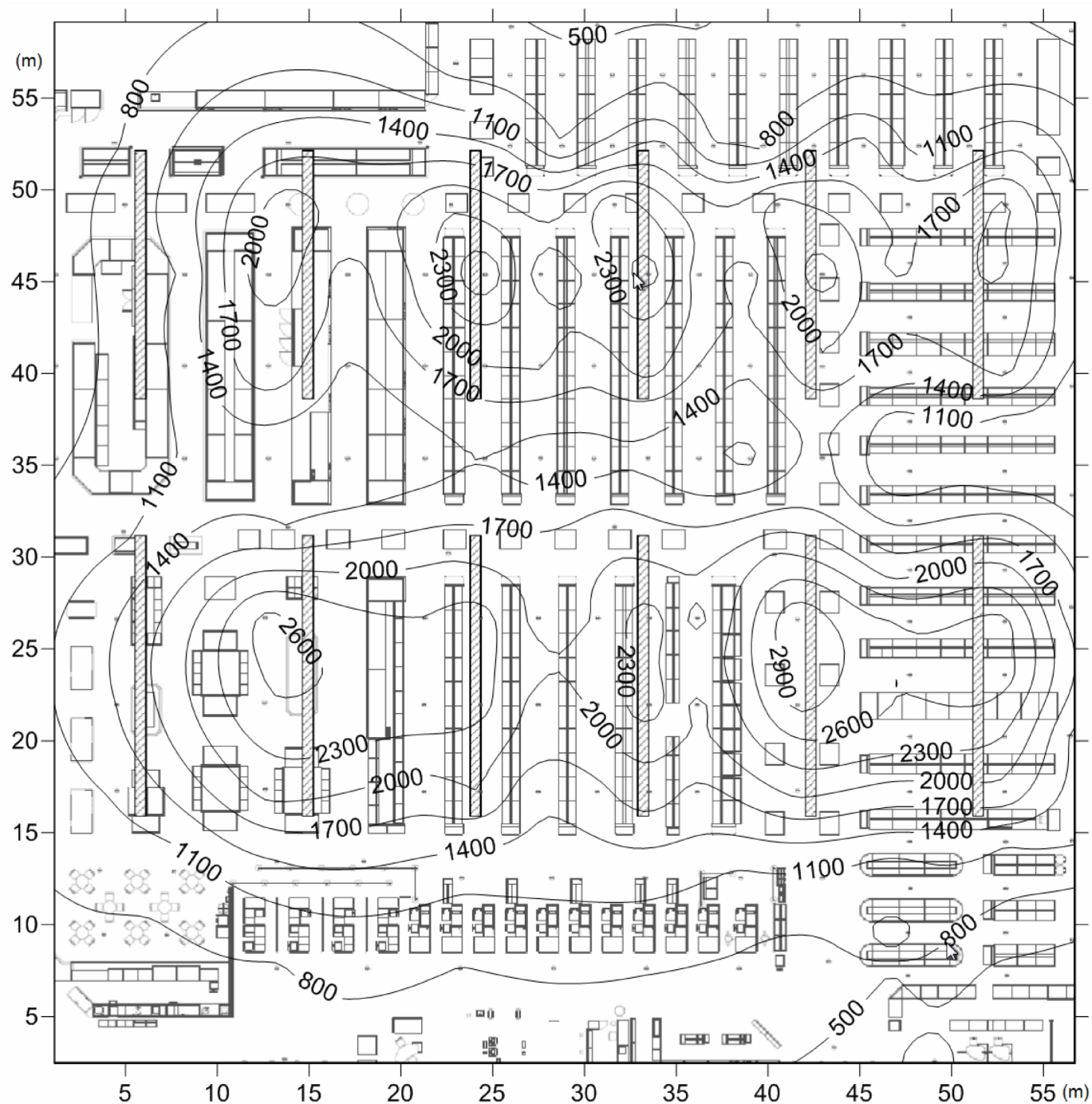
Valor mínimo	355 lux	Valor Máximo	3980 lux	Valor Médio	1797 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	----------

Quinta medida em 27/01/2011 às 15h00



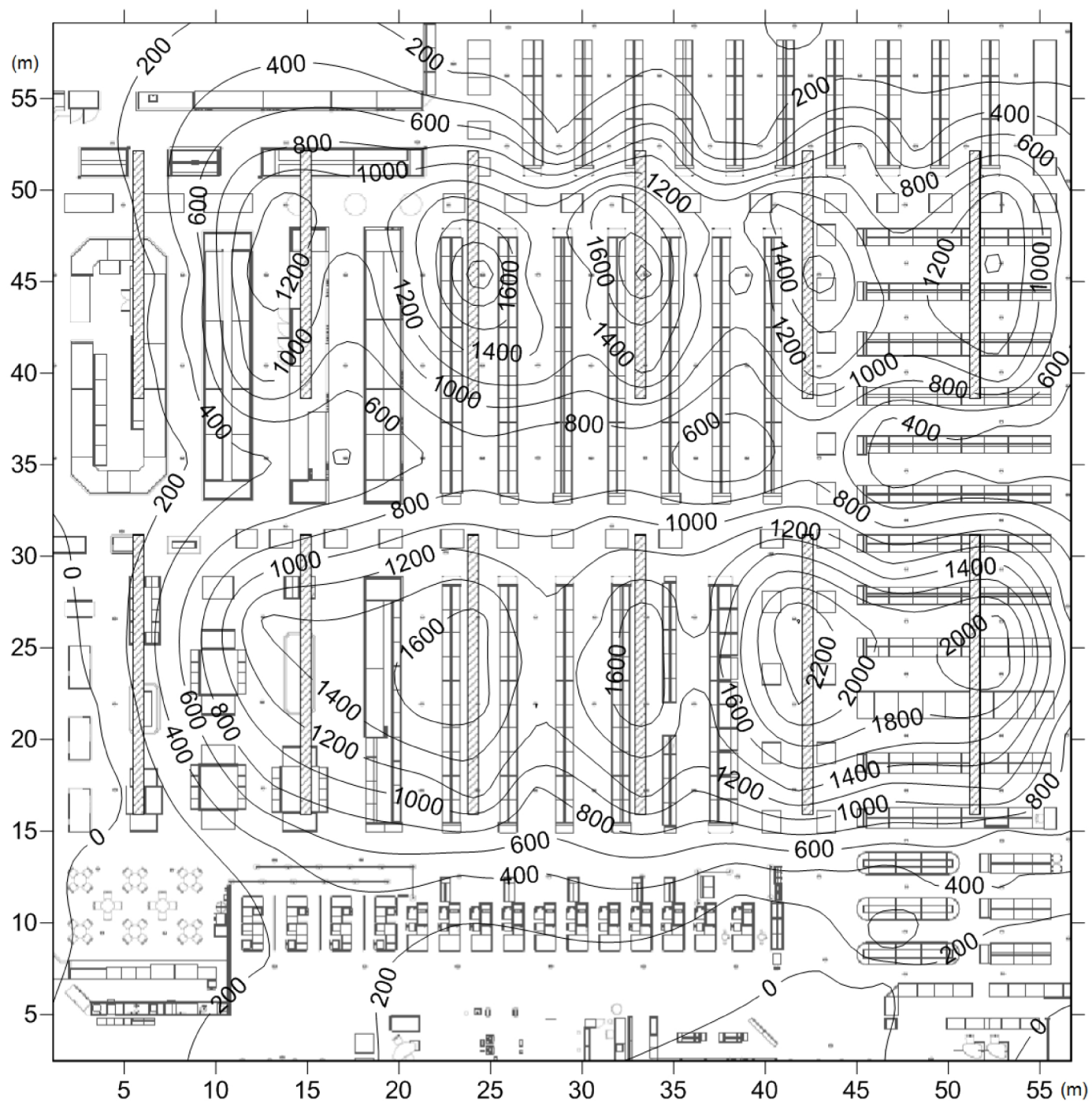
Valor mínimo	337 lux	Valor Máximo	3630 lux	Valor Médio	1613 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	----------

Média entre as medidas 1, 2, 4 e 5.



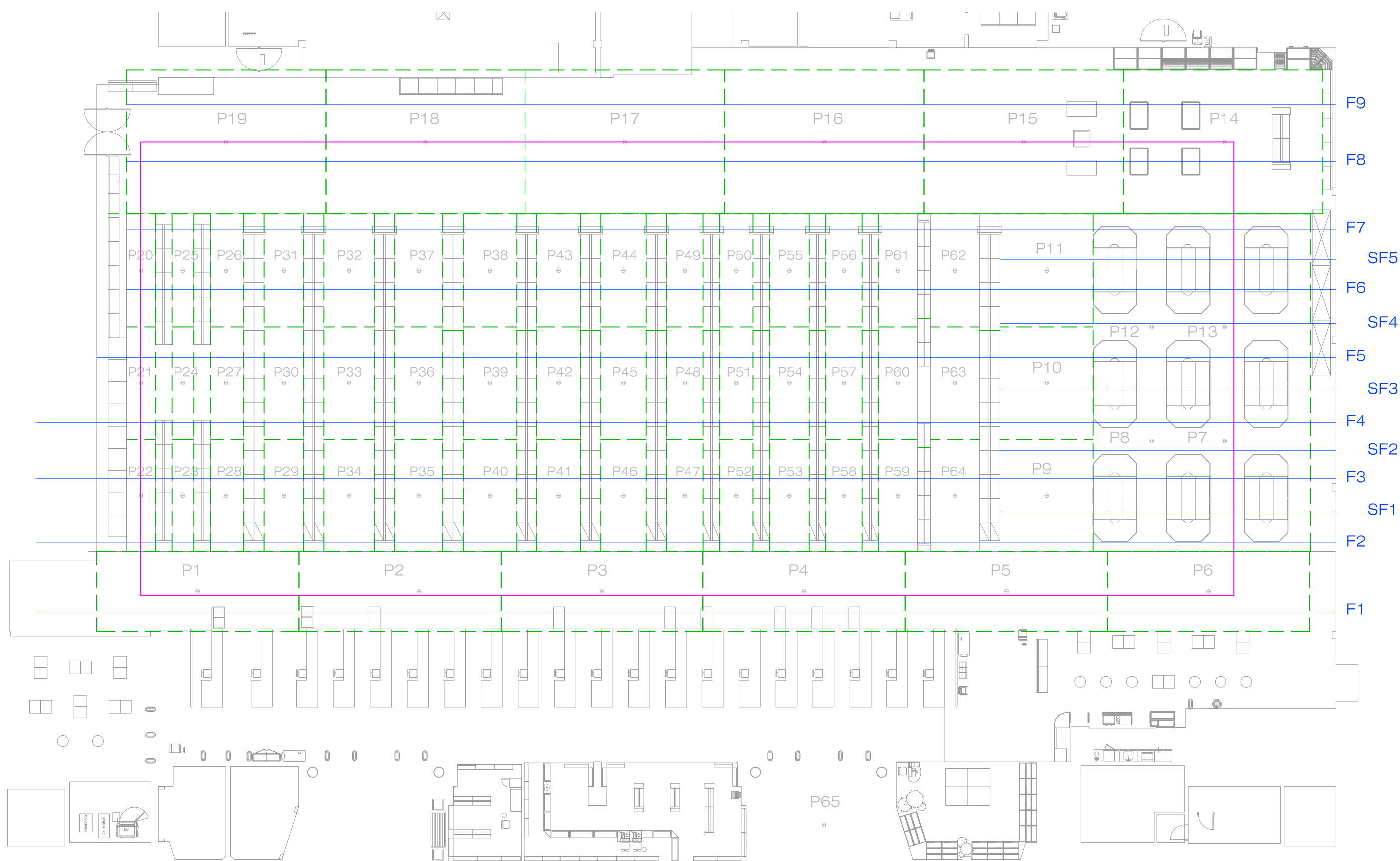
Valor mínimo	367 lux	Valor Máximo	3160 lux	Valor Médio	1467 lux
---------------------	---------	---------------------	----------	--------------------	----------

Estimativa da contribuição média da iluminação natural



Valor mínimo	0 lux	Valor Máximo	2424 lux	Valor Médio	727 lux
---------------------	-------	---------------------	----------	--------------------	---------

B. Apêndice B – Plantas em A3 dos hipermercados A e B



Legenda Hipermercado A:



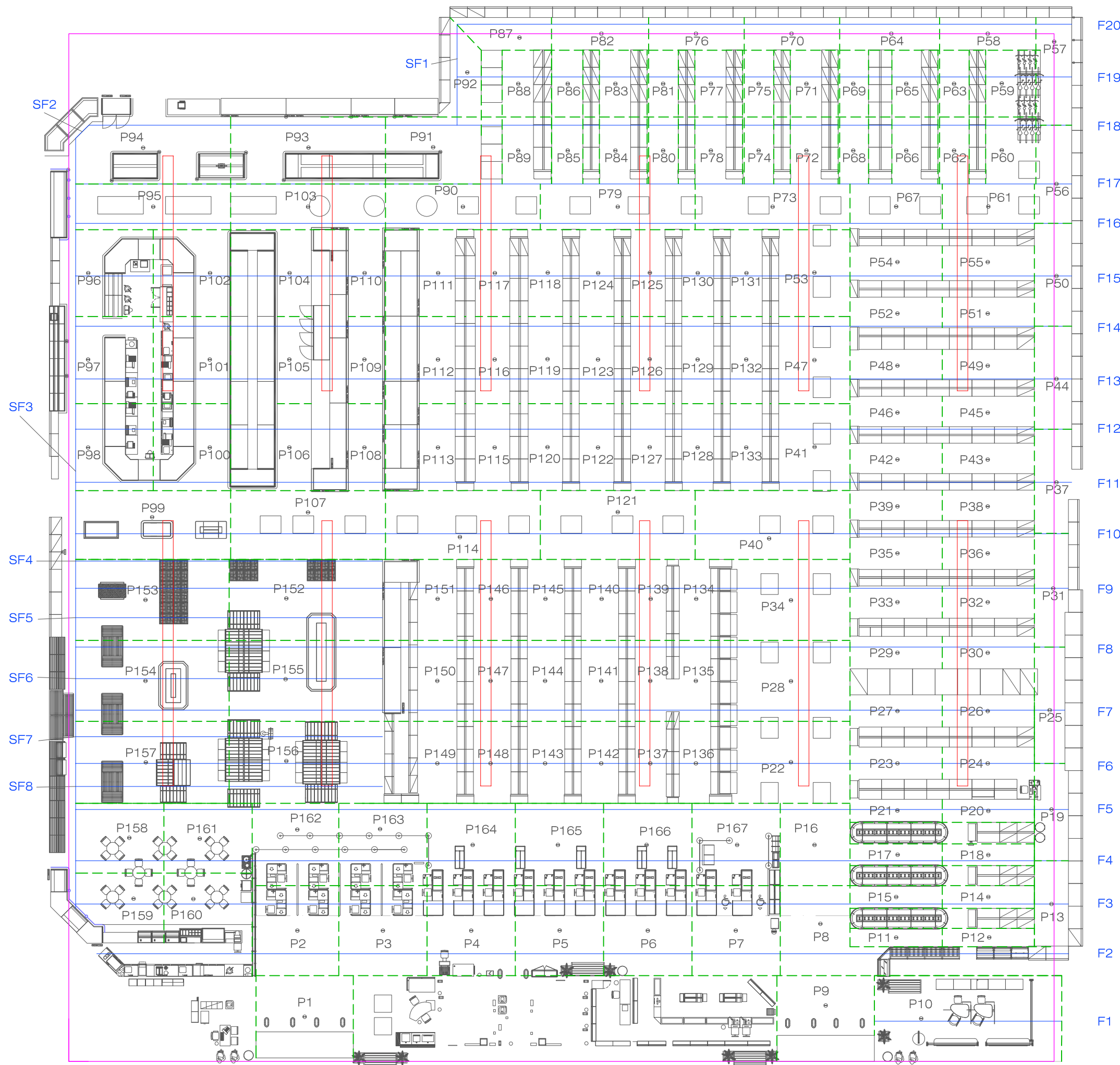
Região da medição



Área da curva Isolux
Fileira de luminárias



Ponto de medição



Legenda Hipermercado B:

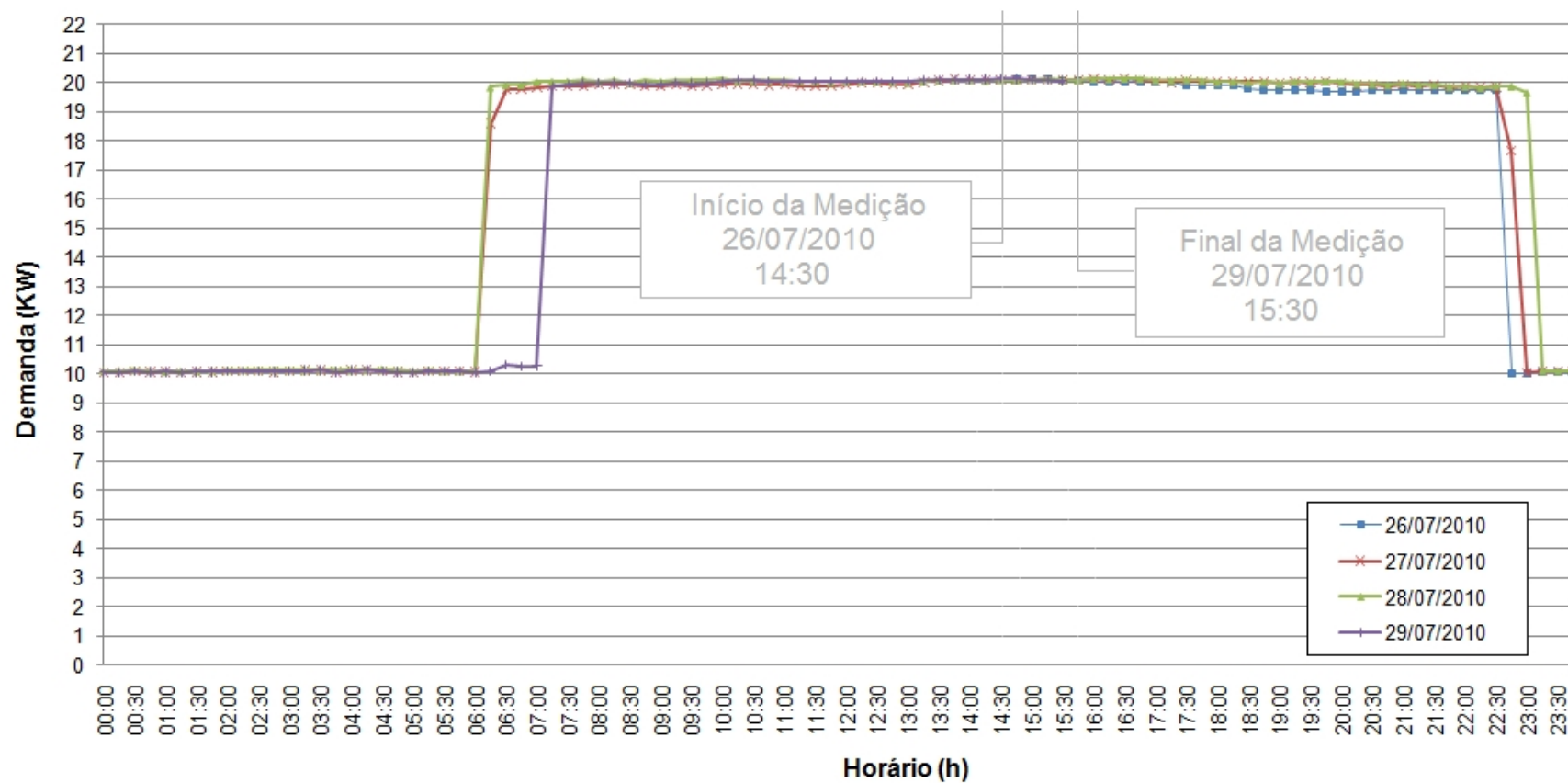
- Região de medição
- Área da curva Isolux
- Fileira de Luminárias
- Pn • Ponto de Medição
- Abertura Zenital

C. Apêndice C – Medições do consumo de energia

Este anexo apresenta os resultados obtidos com as medidas de consumo de energia elétrica realizadas nos hipermercados A e B, apresentando os gráficos obtidos com o uso dos analisadores de energia.

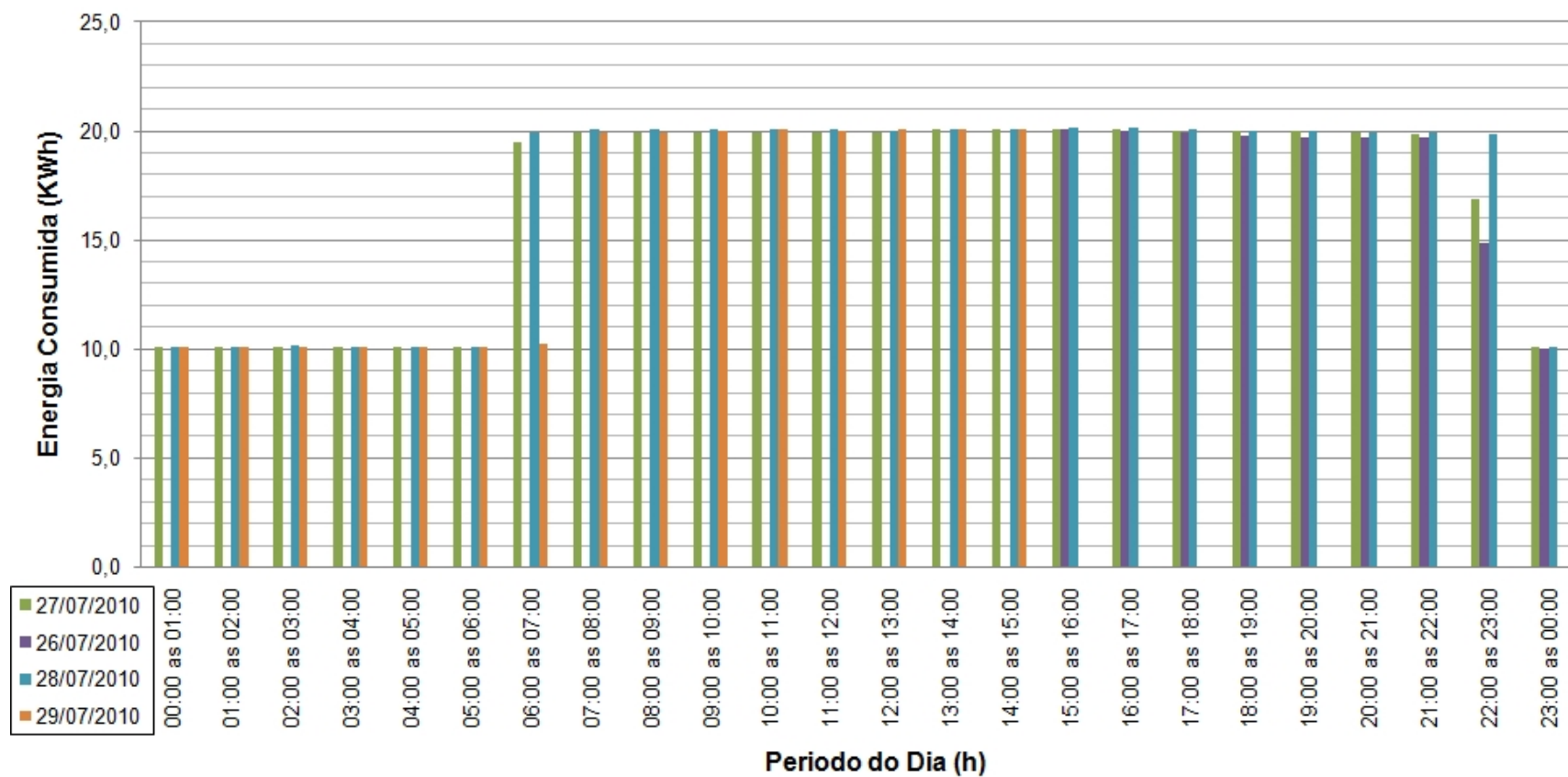
C.1. Hipermercado A

Curvas de carga da primeira etapa de medições



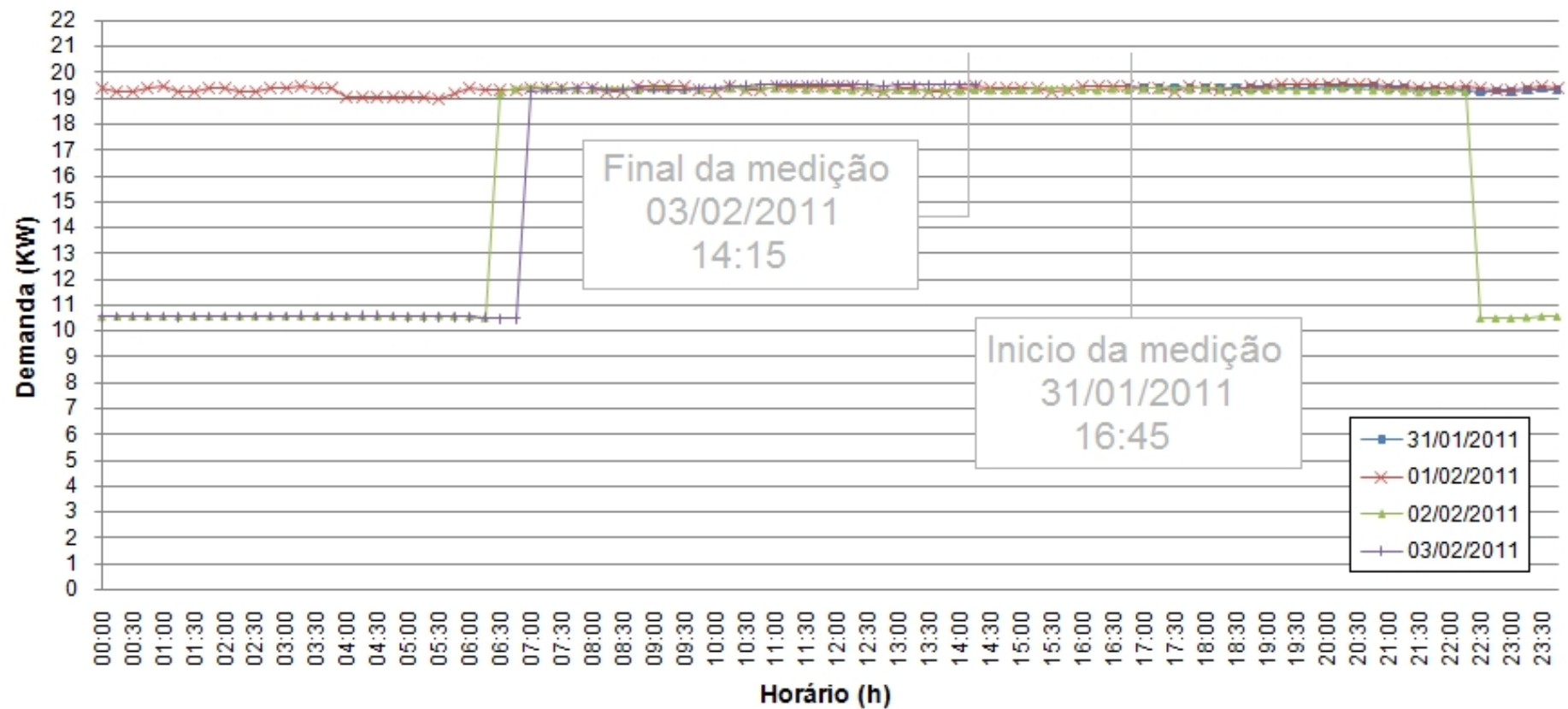
Curvas de Carga obtida durante a primeira etapa de medições no hipermercado A.

Consumo de energia da primeira etapa de medições



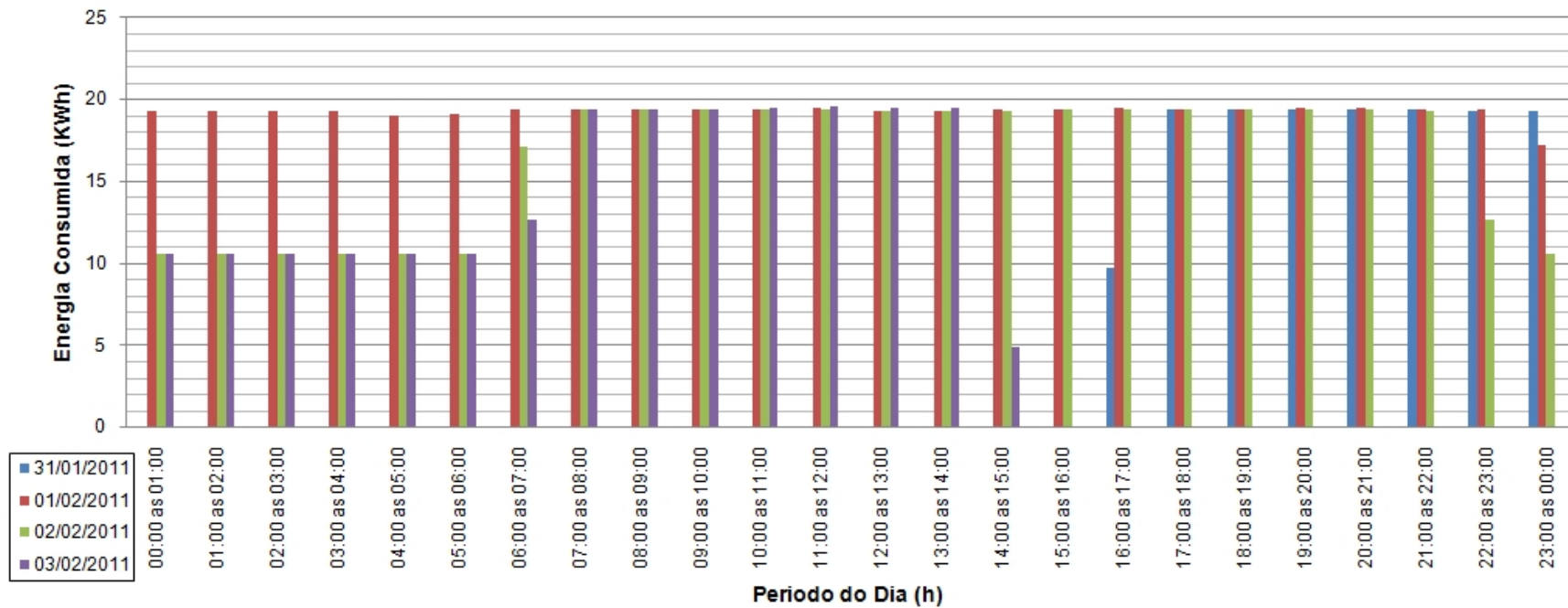
Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado A durante a primeira etapa de medições.

Curvas de carga da segunda etapa de medições



Curvas de Carga obtida durante a segunda etapa de medições no hipermercado A.

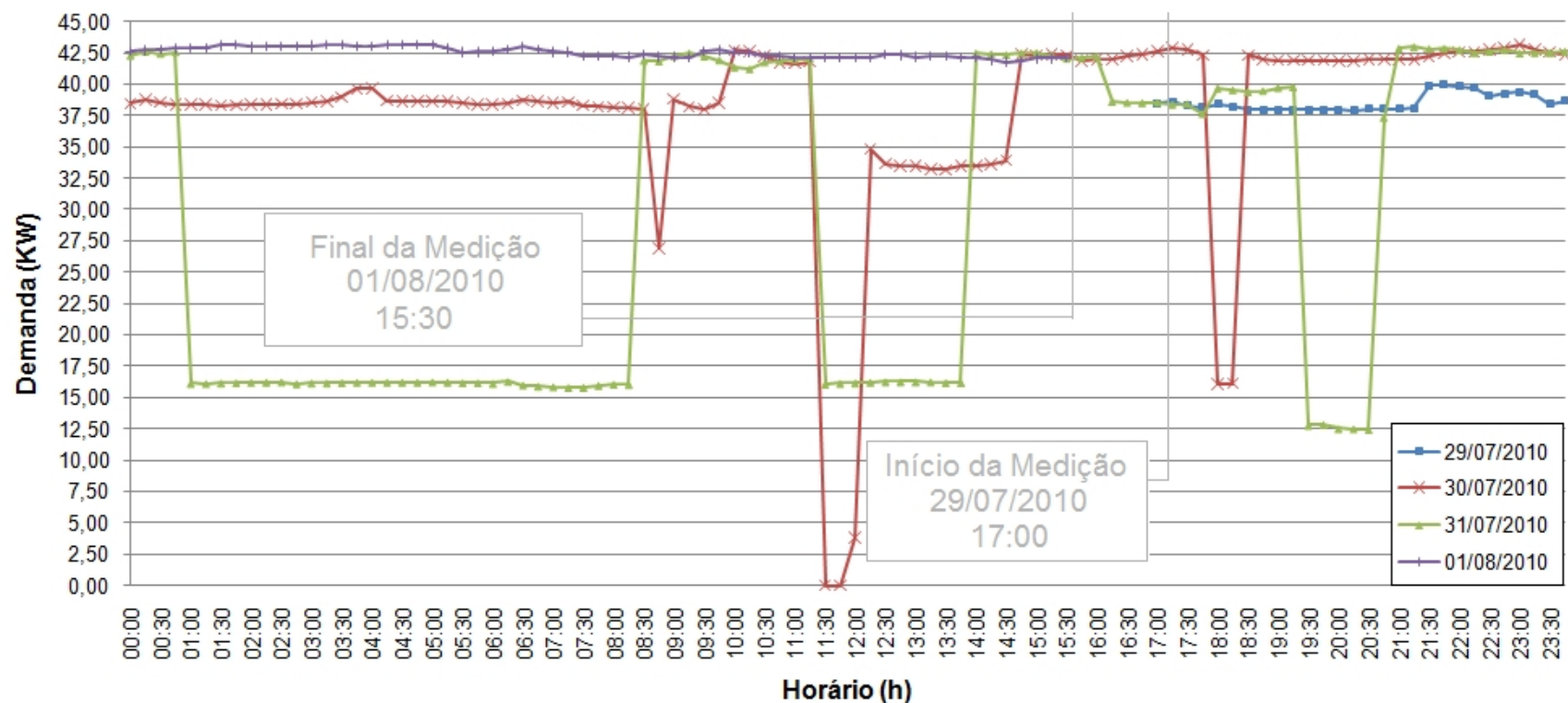
Consumo de energia da segunda etapa de medições



Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado A durante a segunda etapa de medições.

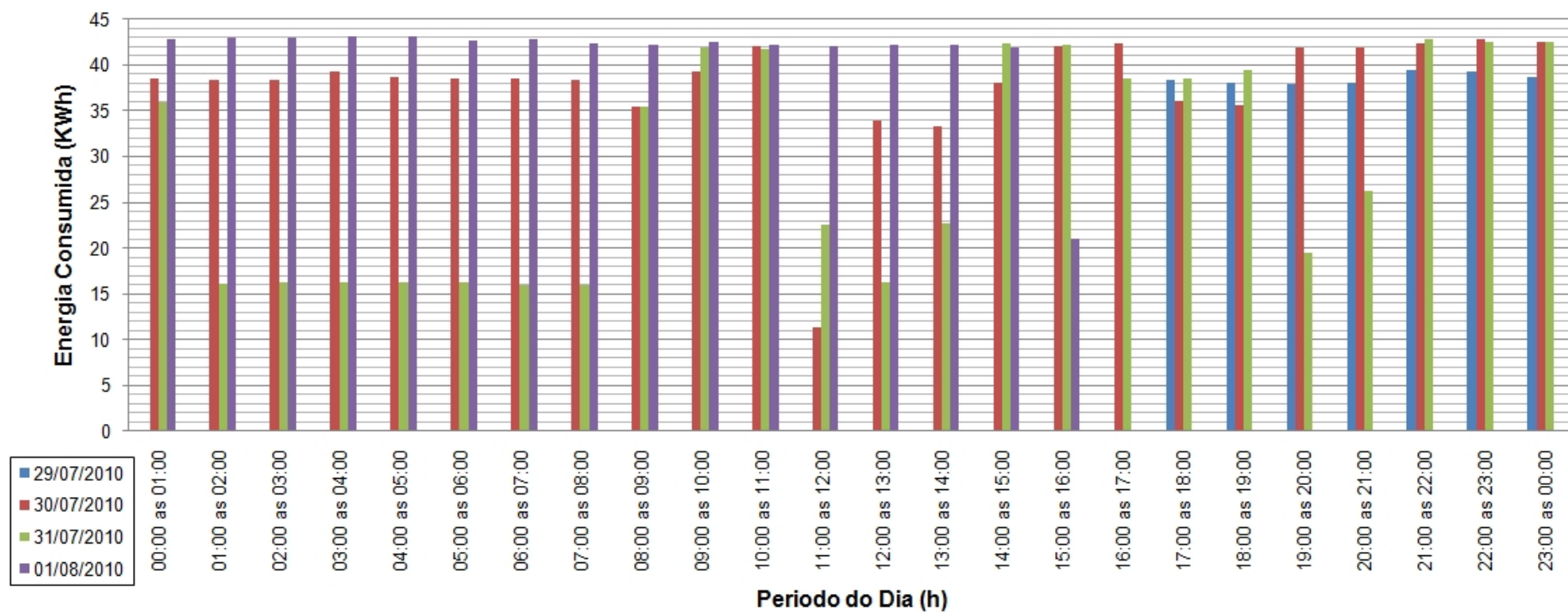
C.2. Hipermercado B

Curvas de carga da primeira etapa de medições



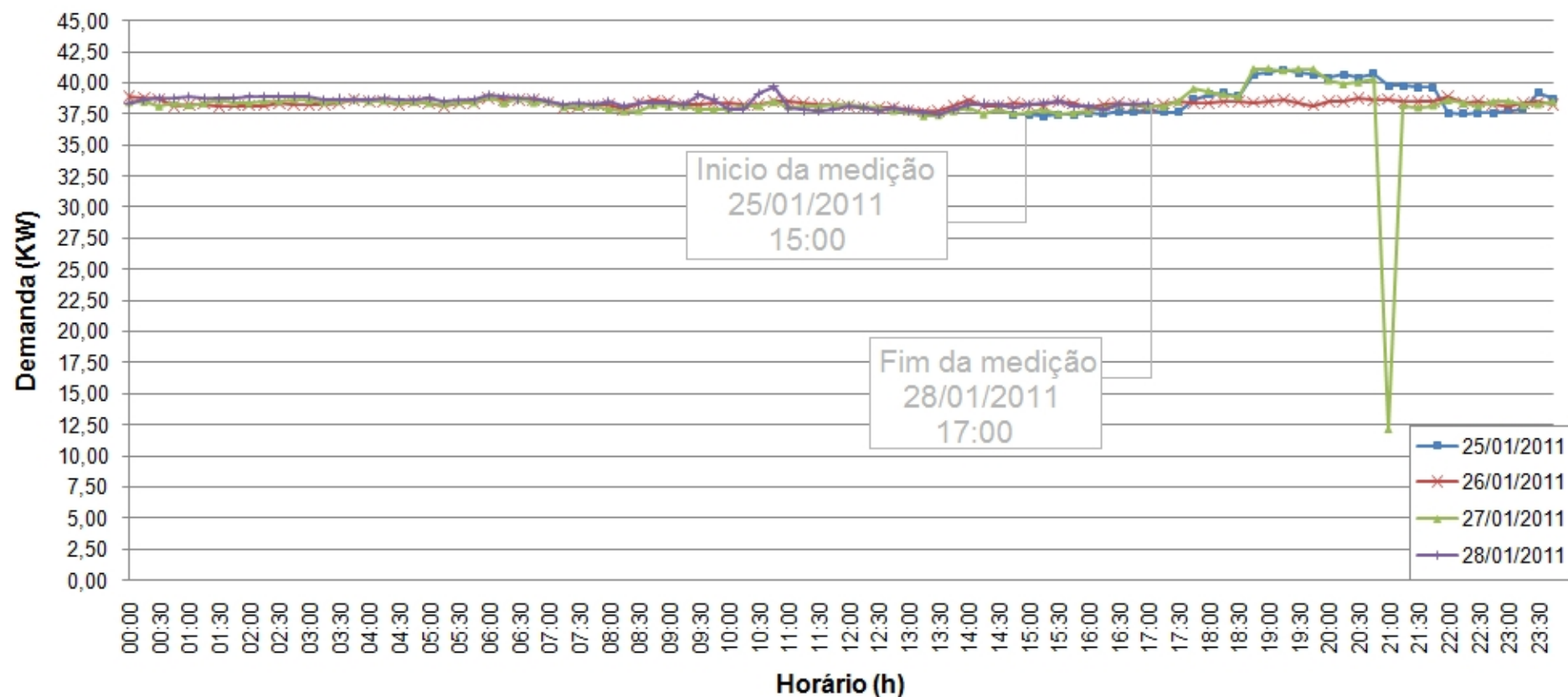
Curvas de Carga obtida durante a primeira etapa de medições no hipermercado B.

Consumo de energia da primeira etapa de medições



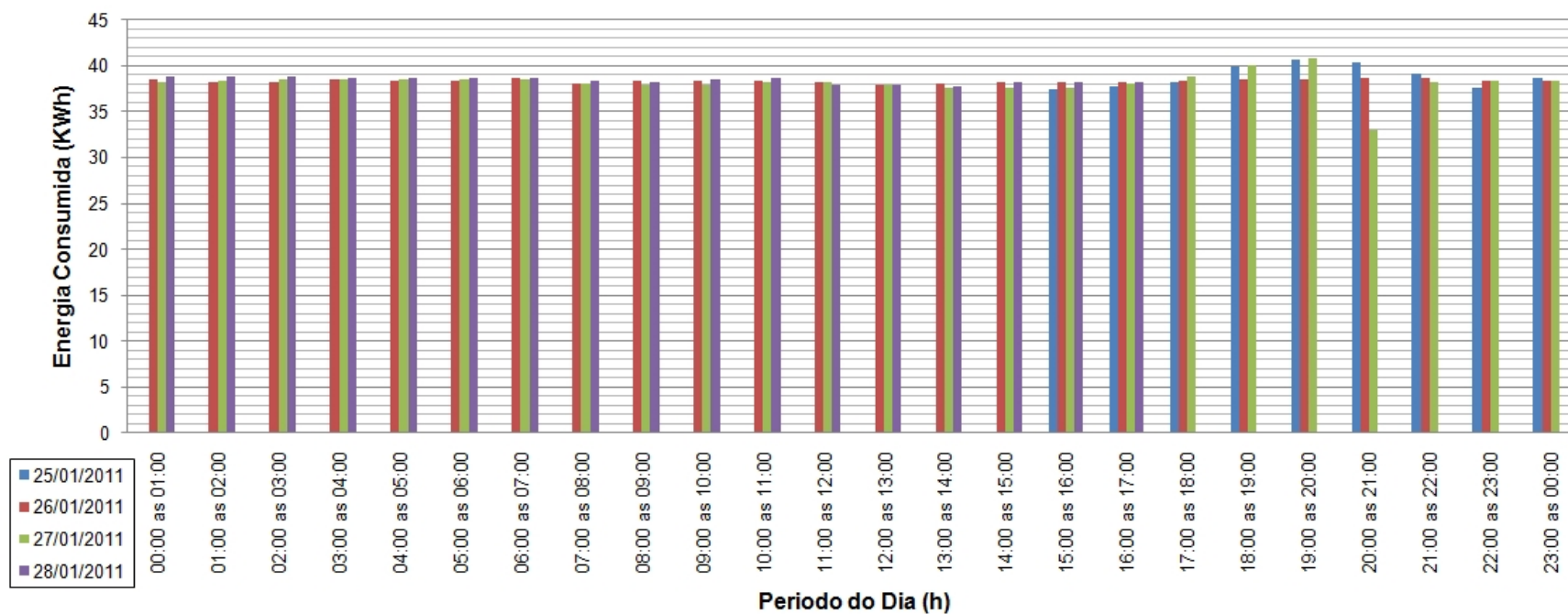
Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado B durante a primeira etapa de medições

Curvas de carga da segunda etapa de medições



Curvas de Carga obtida durante a segunda etapa de medições no hipermercado B.

Consumo de energia da segunda etapa de medições



Consumo de Energia ao longo das horas do dia no hipermercado B durante a segunda etapa de medições.